

PERU

César Marrón

Plantas de tratamiento por filtración lenta

Diseño, operación y mantenimiento

Plantas de tratamiento por filtración lenta

Diseño, operación y mantenimiento

César Marrón

1999, Intermediate Technology Development Group

MARRÓN, César

Plantas de tratamiento por filtración lenta: diseño, operación y mantenimiento / César Marrón.-- Lima: ITDG, 1999

43 p.; ilus.

TRATAMIENTO DEL AGUA / SANEAMIENTO / AGUA POTABLE / TECNOLOGÍA ADECUADA

353.1/M26

Clasificación SATIS / Descriptores OCDE

ISBN 9972 47 053 9

Hecho el depósito legal N° 99 2093
Razón social: Intermediate Technology Development Group, ITDG, Perú
Domicilio: Av. Jorge Chávez 275, Miraflores. Casilla postal 18-0620. Lima 18, Perú
Teléfonos: 444-7055; 446-7324; 447-5127. Fax: 446-6621
e-mail: postmaster@itdg.org.pe http://www.itdg.org.pe

© 1999, Intermediate Technology Development Group
Autor: César Marrón
Diseño original de filtros: Rolando Salgado
Revisión técnica: Lidia Cánepa de Vargas
Cuidado de edición: Soledad Hamann
Coordinación final: Emilio Mayorga
Corrección de estilo: Diana Cornejo
Dibujo de planos técnicos: Fidel Perea y Jorge Campos
Ilustraciones y diagramación: Víctor Mendívil
Impresión: ALI Arte Gráfico Publicaciones S.R.L. 348-4782
Impreso en Perú, 1999

Presentación

El principal objetivo de este manual es difundir los procesos de tratamiento de agua potable que se han identificado como los más apropiados para el medio rural amazónico. Nuestra intención no es realizar una exposición exhaustiva de las soluciones existentes en la bibliografía, sino más bien complementarlas presentando experiencias propias relacionadas con los problemas identificados en el tratamiento de agua para consumo.

Las experiencias desarrolladas por ITDG en el Alto Mayo, basadas en la adecuación de la tecnología existente y en el aprovechamiento de las condiciones locales, permitieron desarrollar un modelo de filtro lento en arena menos costoso y de manejo más sencillo, así como introducir pequeñas modificaciones en las unidades de prefiltración con flujo ascendente desarrolladas en la Universidad de São Paulo (Brasil) y en la desinfección con el clorador artesanal por goteo.

Agradecemos a los anteriores equipos de Agua y Saneamiento de ITDG y a Ingeniería Sin Fronteras del País Vasco por su valioso aporte para la elaboración del presente manual.

Contenido

INTRODUCCIÓN 9

DISEÑO 11

Aereación 13

Prefiltración 14

Filtración 20

Desinfección 23

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO 24

Prefiltro en capas de flujo ascendente 25

Filtros lentos en arena 28

Clorador artesanal por goteo 34

CAPACITACIÓN EN OPERACIÓN
Y MANTENIMIENTO 36

BIBLIOGRAFÍA 43

Introducción

Los reducidos montos de inversión en el tratamiento de agua potable en zonas rurales se explican en parte por el alto costo de los sistemas de tratamiento. Como resultado de esto, en la mayoría de comunidades rurales se sigue consumiendo agua superficial que no cumple con los requisitos de calidad, lo que origina graves problemas sanitarios.

En muchos casos, el alto costo de los sistemas de tratamiento y la mala calidad del agua desalientan incluso la inversión en simples sistemas de conducción de agua por gravedad y sin tratamiento. Ello agrava aún más la situación sanitaria y obliga a los pobladores –en especial a las mujeres y niños– a trasladar desde largas distancias agua de peor calidad que la que se podría obtener por conducción desde puntos elevados de la cabecera de los ríos.

Una solución técnicamente viable para el tratamiento de agua es la instalación de sistemas de filtración lenta en arena. Sin embargo, la implementación de la tecnología y la operación del sistema todavía presentan una serie de dificultades. Además, su costo directo de construcción es relativamente alto. Un gran porcentaje de estos sistemas se encuentra paralizado y abandonado porque:

- Los diseños resultan inapropiados, pues no toman en cuenta las variaciones de la calidad del agua en las diferentes épocas del año.
- Los encargados de su operación, normalmente pobladores de la comunidad, no han sido capacitados adecuadamente en el manejo del sistema.
- Las instituciones responsables no llevan a cabo un seguimiento de las instalaciones.
- Los materiales de repuesto no se encuentran disponibles en la región.
- La arena del lecho filtrante no se repone cuando se llega al espesor mínimo después de varios raspados.

La principal característica de la filtración lenta es que, por efecto de la actividad biológica, permite la remoción de organismos patógenos del agua cruda, en particular de las bacterias y virus responsables de la transmisión de enfermedades relacionadas con el agua. Además, no necesita la adición de productos químicos ni una supervisión altamente cualificada y continua.

Sin duda, la filtración lenta es la tecnología más adecuada para el medio rural. No obstante, para evitar algunos de los problemas descritos es necesario aplicar soluciones que tomen en cuenta las capacidades locales, tanto técnicas como económicas, de modo que este sistema pueda cumplir realmente con su objetivo: abastecer de agua potable a las poblaciones rurales.

En este manual se propone una alternativa de bajo costo, técnicamente adecuada y manejable comunitariamente, que consiste en la instalación de unidades modificadas de prefiltración en grava, filtración lenta y desinfección adaptadas a la realidad rural amazónica. Además de los criterios de diseño, se detallan las tareas de operación y mantenimiento necesarias para que estas unidades operen eficazmente, y se proporciona una guía metodológica dirigida a los equipos de capacitación de los encargados de planta.

En el diseño propuesto de unidades de filtración lenta se han simplificado las estructuras de entrada y salida del filtro, se ha reducido el espesor del lecho de arena y se ha variado la estructura del filtro para permitir la aplicación del método de lavado por trillado actualmente usado en filtros de gran escala.

La reducción del espesor del lecho de arena sin perder eficacia en la remoción bacteriológica ha sido posible gracias al clima de la Amazonia: sus elevadas temperaturas favorecen la actividad biológica, responsable de la eliminación de bacterias y virus patógenos.

Se ha puesto especial énfasis en el uso de prefiltros cuando el agua presenta alta turbidez –sobre todo en época de lluvias–, porque ello permite el funcionamiento adecuado del filtro al mejorar la calidad del agua que ingresa a él.

Diseño

Antes de emprender un proyecto de abastecimiento de agua con tratamiento es fundamental evaluar y definir el nivel de organización de la comunidad. Si éste es insuficiente o inexistente, probablemente una vez que el sistema esté construido se descuidarán su operación y mantenimiento y se abandonará al cabo de un tiempo.

La comunidad debe participar en todo el proceso de instalación del servicio de agua: en la selección de la opción técnica, en la construcción y supervisión de las obras y en la gestión del servicio.

En la etapa de diseño, la comunidad debe decidir cuál es la opción técnica y el nivel de servicio adecuados entre las soluciones propuestas. Para ello debe conocer los costos del sistema –incluyendo el aporte que le corresponde para la construcción y el pago tarifario–, las ventajas y desventajas de cada opción y sus responsabilidades en la operación y el mantenimiento (PNUD 1998).

Los factores que deben tomarse en cuenta para un estudio preliminar que permita definir posibles soluciones de tratamiento son:

- **Condiciones climáticas.** La temperatura influye sustancialmente en el comportamiento de los procesos de tratamiento, y la intensidad y duración de las lluvias en la cantidad y calidad de la fuente.
- **Características de la cuenca.** Factores de orden humano y natural, como descargas de aguas residuales o escorrentías procedentes de terrenos agrícolas tratados químicamente, pueden afectar seriamente la calidad del agua.
- **Calidad del agua.** Es necesario llevar a cabo un análisis físico-químico y bacteriológico del agua para determinar su calidad y el nivel de tratamiento que requiere.
- **Ubicación de la planta.** El terreno debe ser de fácil acceso, no tener aguas subterráneas próximas, contar con una pendiente natural de 5 a 10%, no estar expuesto a riesgos naturales, y debe firmarse un acuerdo escrito con el propietario.
- **Características de la comunidad.** Se requiere conocer las costumbres y creencias que puedan afectar la aceptación del sistema, las características de las organizaciones existentes, la disponibilidad de recursos materiales y humanos y el nivel de escolarización.
- **Existencia de enfermedades de origen hídrico.**

La selección de los procesos de tratamiento como posible solución de abastecimiento de agua potable para comunidades rurales depende de la calidad del agua cruda.

Alternativas	Enfermedades endémicas de origen hídrico	Límites de calidad de agua cruda			
			Límites de turbidez (ut)		
		Coliformes fecales (uc)	90% tiempo	80% tiempo	Esporádicamente
C	NO	≤ 10	≤ 25	≤ 10	≤ 50
FL + C	-	≤ 10 000			
PC + C	NO	≤ 100	≤ 50	≤ 20	≤ 100
PC + FL + C	-	≤ 10 000	≤ 100	≤ 50	≤ 150
S + PC + FL + C	-	≤ 10 000	≤ 150	≤ 80	≤ 200
S + PS + FL + C	-	≤ 10 000	≤ 300	≤ 200	≤ 500
P + S + PS + FL + C	-	≤ 10 000	≤ 500	≤ 200	≤ 1000

P: Presedimentador
S: Sedimentador
PC: Prefiltro de grava en capas con flujo ascendente
PS: Prefiltro de grava en serie con flujo vertical u horizontal
FL: Filtro lento en arena
C: Clorador

- Si el agua posee coliformes fecales y niveles de turbidez que sobrepasan los valores de la tabla se aconseja buscar otra fuente de agua.
- En el ingreso a la planta se debe considerar una estructura de medición de caudal mediante vertedero triangular. En este vertedero se dejará marcada con pintura la altura de agua a la que deberá llegar el agua. El operador accionará la válvula de entrada para reproducir el caudal de operación del sistema.

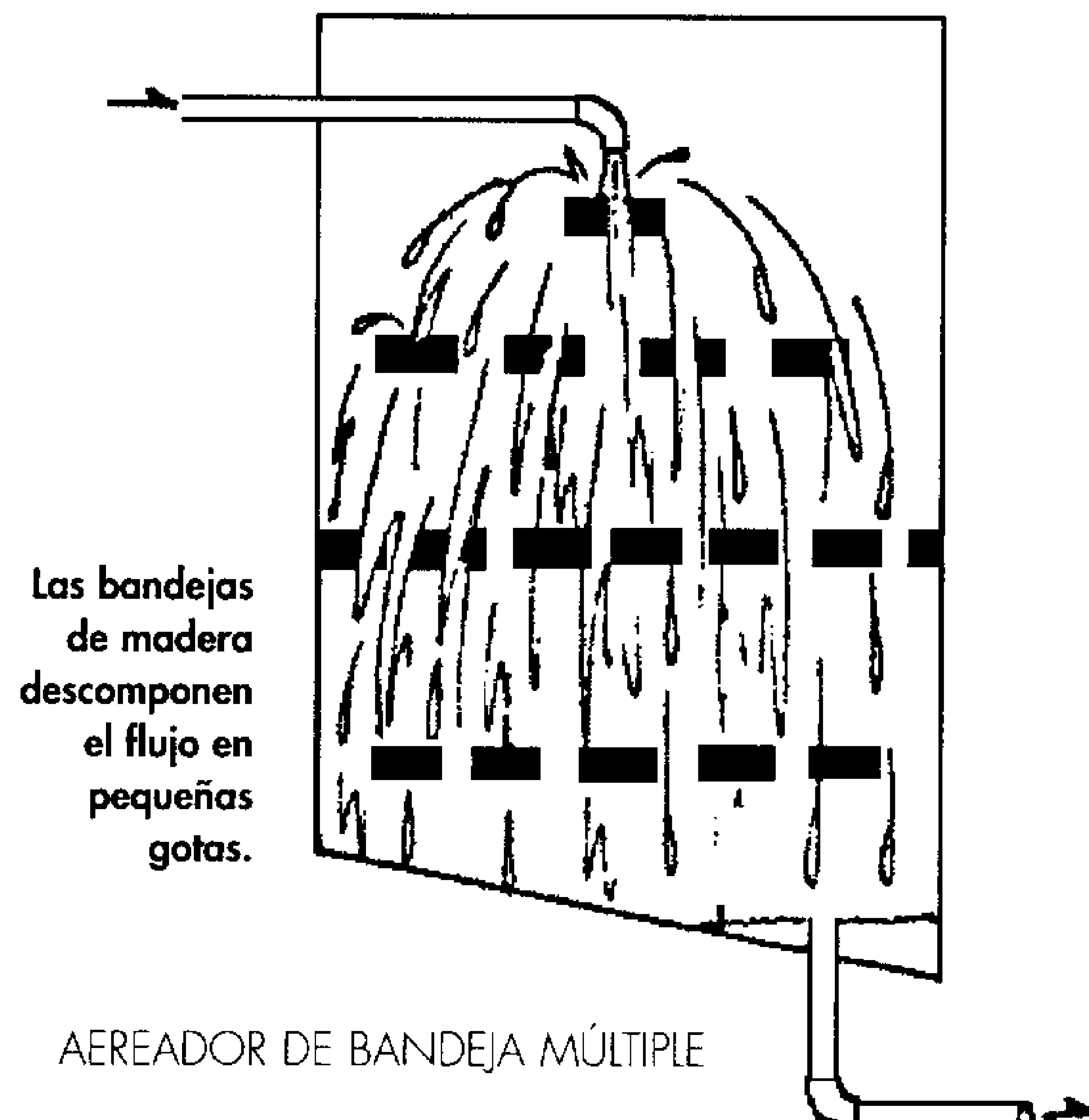
AEREACIÓN

La aereación consiste en mezclar completamente el agua y el aire con el propósito de:

- aumentar el contenido de oxígeno en el agua
- aumentar el pH del agua al disminuir su contenido de dióxido de carbono
- remover el hierro, el manganeso, el sulfuro de hidrógeno, el metano y diversos compuestos orgánicos volátiles responsables del sabor y olor del agua (Hofkes *et al.* 1987)

A continuación presentamos los métodos más sencillos de aereación

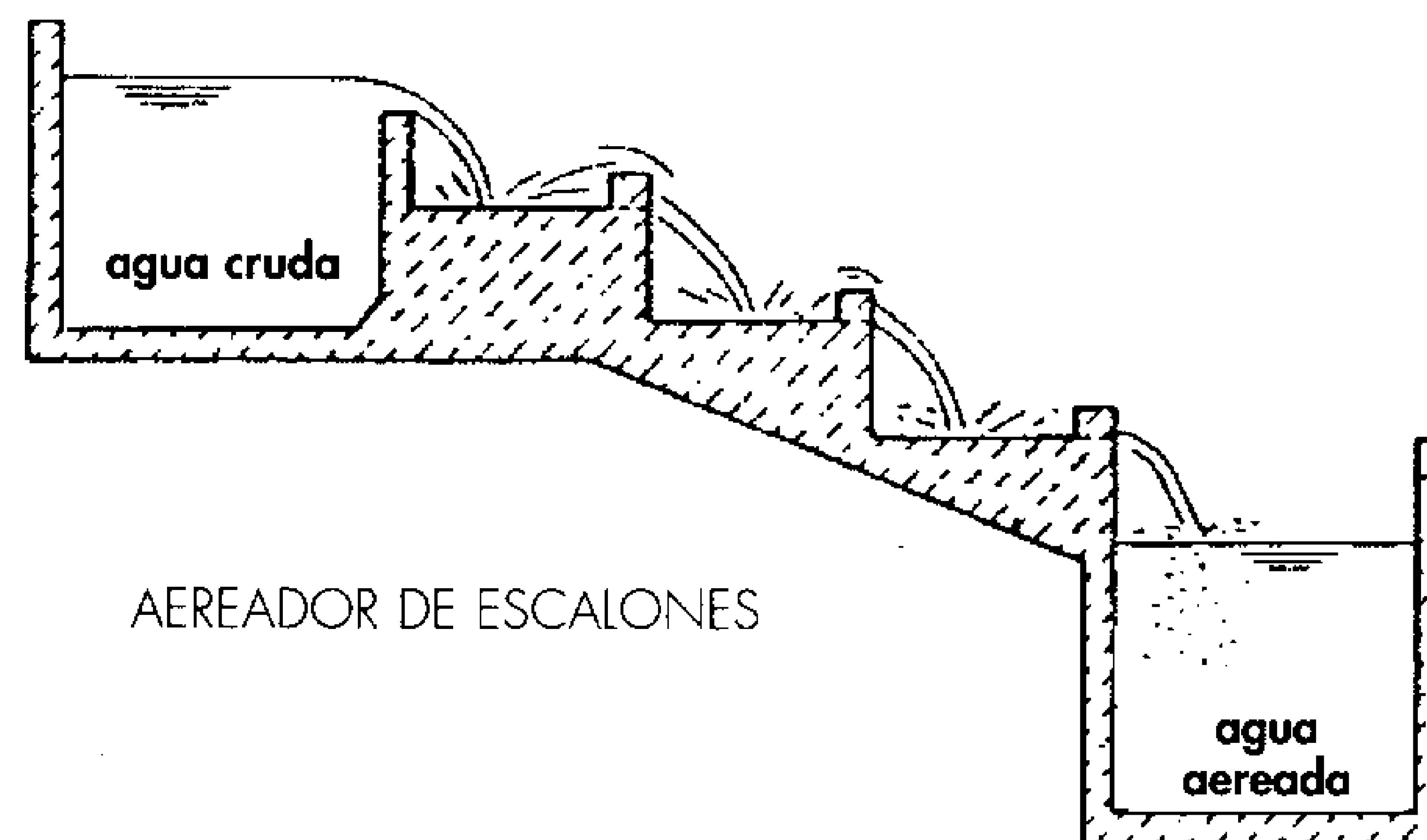
1) Aereador de bandeja múltiple



AEREADOR DE BANDEJA MÚLTIPLE

Es una solución económica y ocupa poco espacio. Consiste en cuatro a ocho bandejas con fondos perforados ubicadas una sobre otra a una distancia de 30-50 cm entre sí. El agua se distribuye uniformemente en la primera bandeja a través de tuberías perforadas o rompiendo el chorro de agua con un listón, como se muestra en la figura. Desde ahí desciende en una proporción de 0,02 m^3/s por metro cuadrado de superficie de la bandeja. Entonces se dispersa en gotas que se recolectan en la siguiente bandeja. Las bandejas pueden hacerse con diversos materiales: láminas de asbesto-cemento, tuberías de plástico de diámetro pequeño o tablillas paralelas de madera. Para lograr una dispersión más fina del agua, se pueden llenar las bandejas del aereador con grava gruesa hasta aproximadamente 10 cm de profundidad.

2) Aereador de escalones



AEREADOR DE ESCALONES

Consiste en cuatro o seis escalones de 30 cm de altura cada uno y con una capacidad aproximada de 0,01 m^3/s por metro de ancho. Para producir turbulencia y así mejorar la eficiencia de aereación, a menudo se coloca un obstáculo al borde de cada escalón.

Se requiere de más espacio que para el de bandeja múltiple, pero se pierde menos carga y no necesita mantenimiento.

PREFILTRACIÓN

En muchos diseños de plantas de tratamiento no se toman en cuenta las variaciones en la calidad del agua, sobre todo en época de lluvias, en que debido al aumento de turbidez los filtros se obstruyen y pierden su eficacia. Por ello es necesario adecuar previamente el agua mediante diferentes procesos. Entre éstos se encuentra la prefiltración, que remueve no sólo la turbidez sino también las algas y bacterias del agua y alarga el periodo de operación de los filtros, disminuyendo su frecuencia de lavado (Collins *et al.* 1991).

Aunque los prefiltros de flujo ascendente y descendente tienen una eficacia similar, los primeros son más sencillos de mantener debido a que la operación de retrolavado hidráulico es más fácil.

Se recomienda la alternativa de flujo ascendente en capas para aguas de turbidez inferior a 50 UT y con picos de corta duración. El prefiltro en serie, por su parte, permite una mayor capacidad de almacenado de sólidos para aguas de mala calidad (AARAUV 1985).

Para la distribución uniforme del caudal a las unidades de prefiltración hay dos posibilidades:

- Estructura con vertederos rectangulares provistos de compuertas manuales para aislar las unidades. Requiere de una pequeña inversión, pero es una solución más cómoda para el operador y confiable a largo plazo.
- Aforos en la entrada a cada unidad y posterior regulación de la válvula de ingreso. No requiere de inversión adicional.

1) Prefiltro de grava en capas con flujo ascendente

Descripción

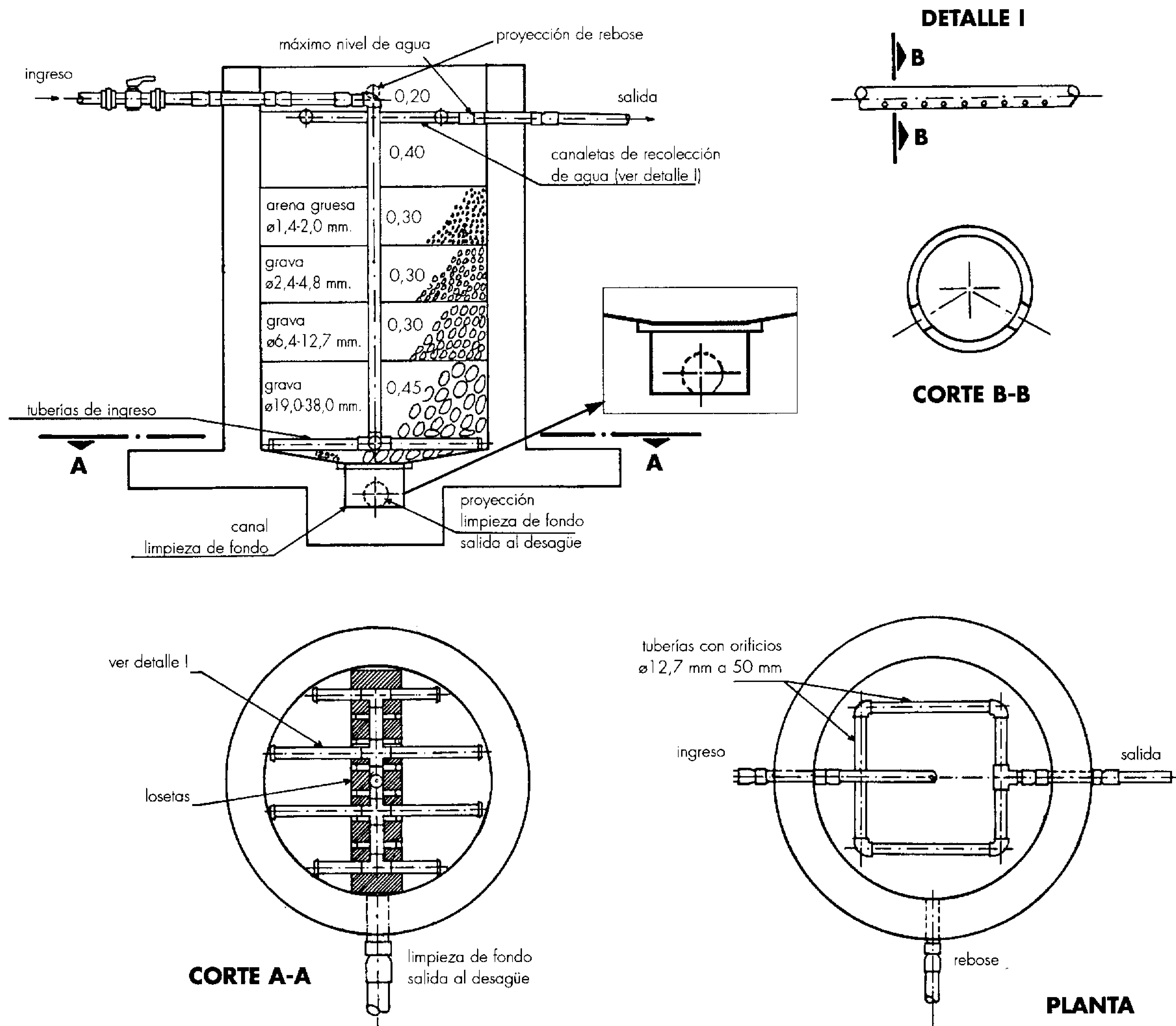
La tubería de ingreso se introduce por el eje del prefiltro hasta el fondo de la unidad. Desde esta tubería el agua se distribuye uniformemente a toda el área de la unidad mediante tuberías secundarias perforadas. La zona de filtración está compuesta por cuatro capas de grava de diferentes tamaños: al fondo se deposita la grava más gruesa, y en la parte superior la más fina.

El agua atraviesa la zona de filtración de forma ascendente y es recogida por la tubería de salida, que tiene orificios de 12,7 mm de diámetro a 50 mm de centro a centro y está a 0,40 m del lecho filtrante de grava. Esta tubería puede ser mayor que la de ingreso, para reducir las pérdidas de carga y facilitar la salida de agua.

En el fondo del prefiltro está la zona de drenaje, que permite su descarga. El piso de la unidad tiene una inclinación del 12,5% para facilitar el deslizamiento del sedimento hacia el canal de descarga del agua de lavado. Como soporte de las gravas se ubican losas o ladrillos sobre el canal de descarga, separados por dos o tres centímetros (CRHEA 1991; Marrón 1998a).

Criterios de diseño

PARÁMETRO	VALORES	
Número de prefiltros	≥ 2	
Tasa de filtración (caudal/área) (m/h)	≤ 1,5	
Capas	espesor (m)	tamaño (mm)
capa 1 (grava)	0,1 - 0,3	19,0 - 38,0
capa 2 (grava)	0,2 - 0,4	6,4 - 12,7
capa 3 (grava)	0,3 - 0,5	2,4 - 4,8
capa 4 (grava)	0,3 - 0,5	1,4 - 2,0
Espesor total del lecho (m)	≥ 1,2	
Altura de agua sobre la superficie del lecho (m)	≥ 0,4	
Altura del borde libre (m)	0,2 - 0,4	
Pendiente del fondo (%)	≥ 12,5%	
Separación entre losas/ladrillos (mm)	20 - 30	
Ancho de losas/ladrillos (cm)	10 - 15	
Velocidad de descarga de lavado (m/min)	1	
Velocidad en el canal de lavado (m/s)	1,5	



PREFILTRO DE AGUA EN CAPAS CON FLUJO ASCENDENTE

- La velocidad de filtración se elige en función de la calidad del agua: aumenta con la calidad de ésta en un rango de 1 a 1,5 m/h.
- La relación de las velocidades en las tuberías secundarias y principal que distribuyen el agua en el fondo de la unidad debe ser $V_p/V_s \leq 0{,}462$ para obtener una buena equirrepartición. Así obtenemos el diámetro de las tuberías secundarias.
- La pérdida de carga en el lecho durante la operación normal de prefiltración es de 20 cm, aproximadamente.
- El sistema prefiltro-filtro tiene poca capacidad de asimilación de variaciones repentinas en la calidad del agua cruda.

Ejemplo de diseño

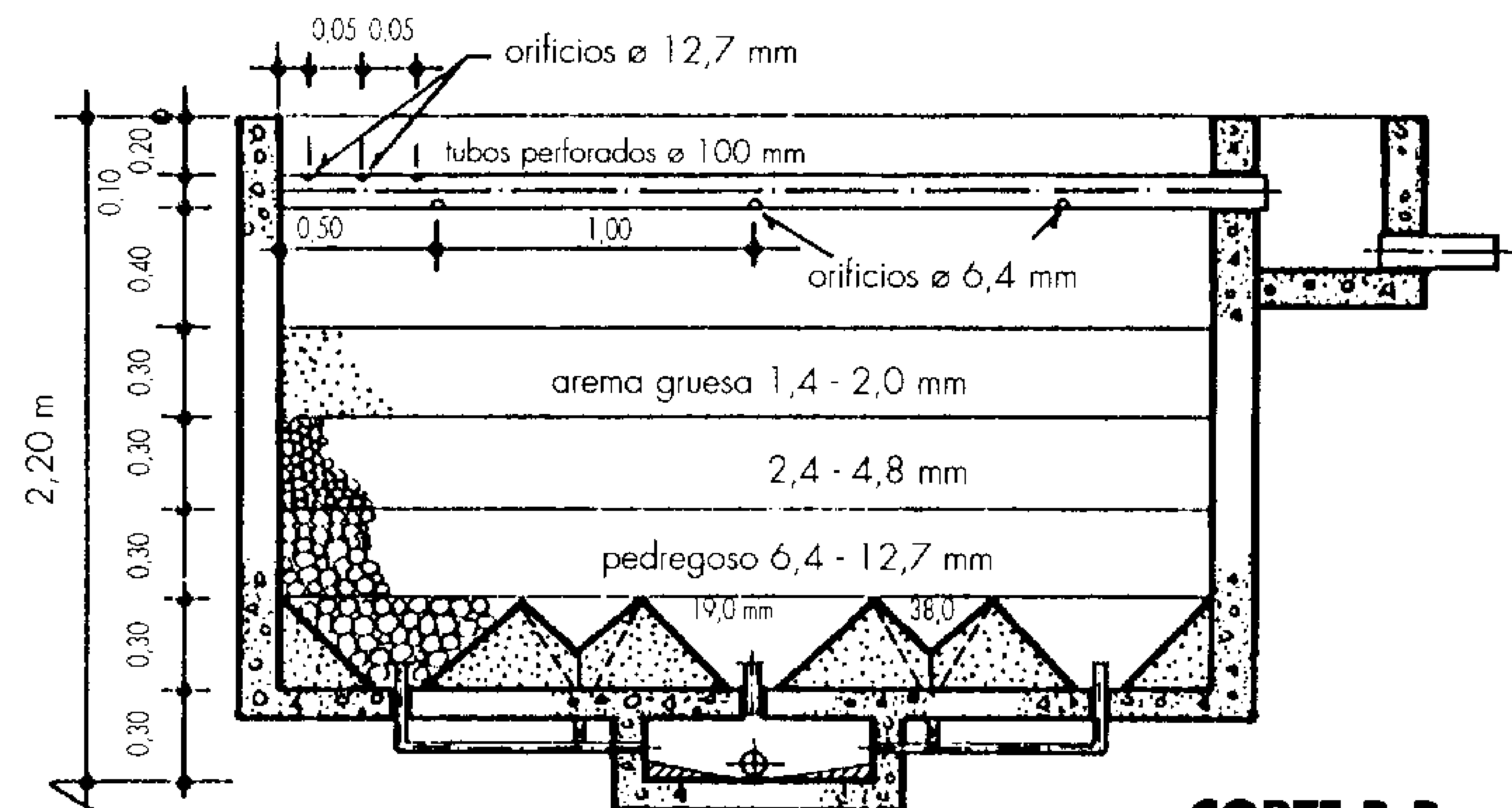
DATOS	UNIDADES	CRITERIOS	CÁLCULOS	RESULTADOS	UNIDADES
caudal $Q_d = 0{,}002$	$\frac{m^3}{s}$	$A = \frac{Q}{V_F}$	$A = \frac{0{,}002 \times 3600}{2 \times 15}$ $A = 2{,}4$	área del prefiltro	m^2
número de unidades $N = 2$	adimensional	$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$	$D = \sqrt{\frac{4 \times 2{,}4}{3{,}14}} \approx 1{,}75$	diámetro del prefiltro	m
velocidad de filtración $V_F = 1{,}5$	$\frac{m}{h}$				
velocidad de lavado $V_L = 1$	$\frac{m}{min}$	$Q_L = A \cdot V_L$	$Q_L = \frac{2{,}4 \times 1}{60} = 0{,}04$	caudal de lavado	$\frac{m^3}{s}$
velocidad en el canal de descarga		$A_C = \frac{Q_L}{V_C}$	$A_C = \frac{0{,}04}{1{,}5} = 0{,}027$	sección del canal	m^2
		$b = \sqrt{A_C}$	$b = \sqrt{0{,}027} \approx 0{,}164$	ancho del canal	m
$V_C = 1{,}5$	$\frac{m}{s}$	$h = \frac{A_C}{b}$	$h = \frac{0{,}027}{0{,}164} \approx 0{,}16$	alto del canal	m

2) Otros modelos de prefiltro de grava en capas con flujo ascendente

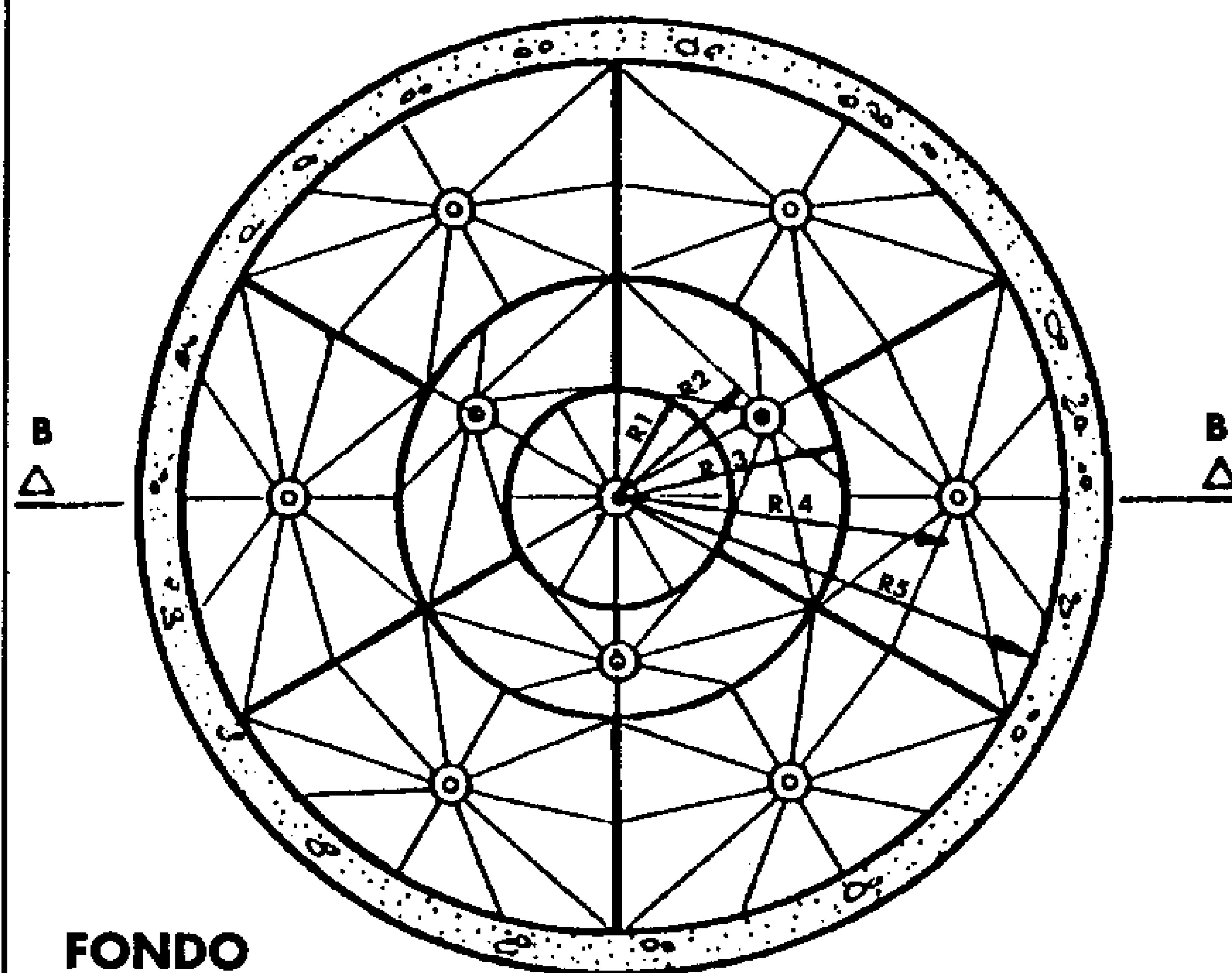
(CRHEA 1991)

ESQUEMA DEL PREFILTRO 3,0 m

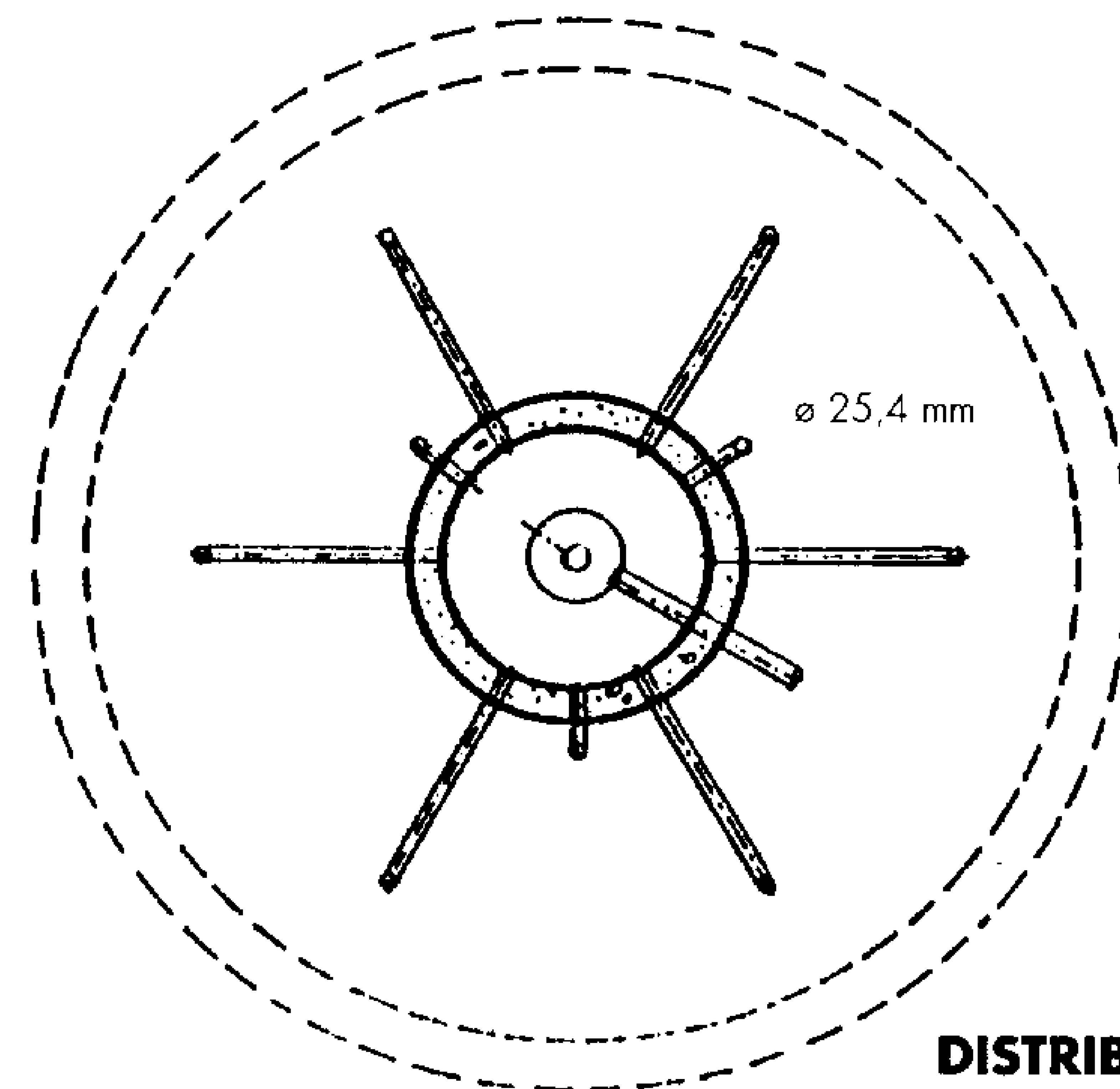
RF = 375 mm
R2 = 562,5 mm
R3 = 750 mm
R4 = 1125 mm
R5 = 1500 mm



CORTE B-B



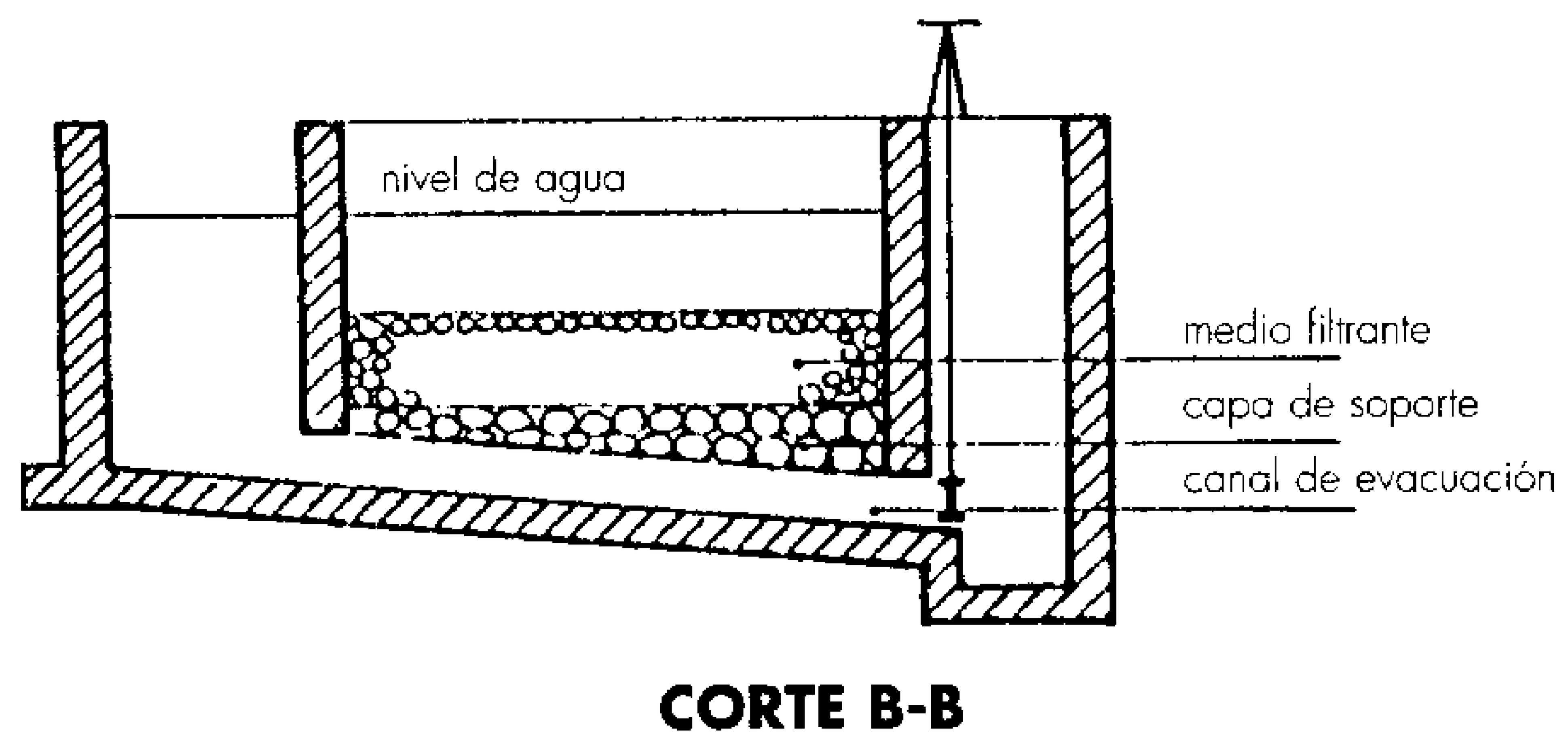
FONDO



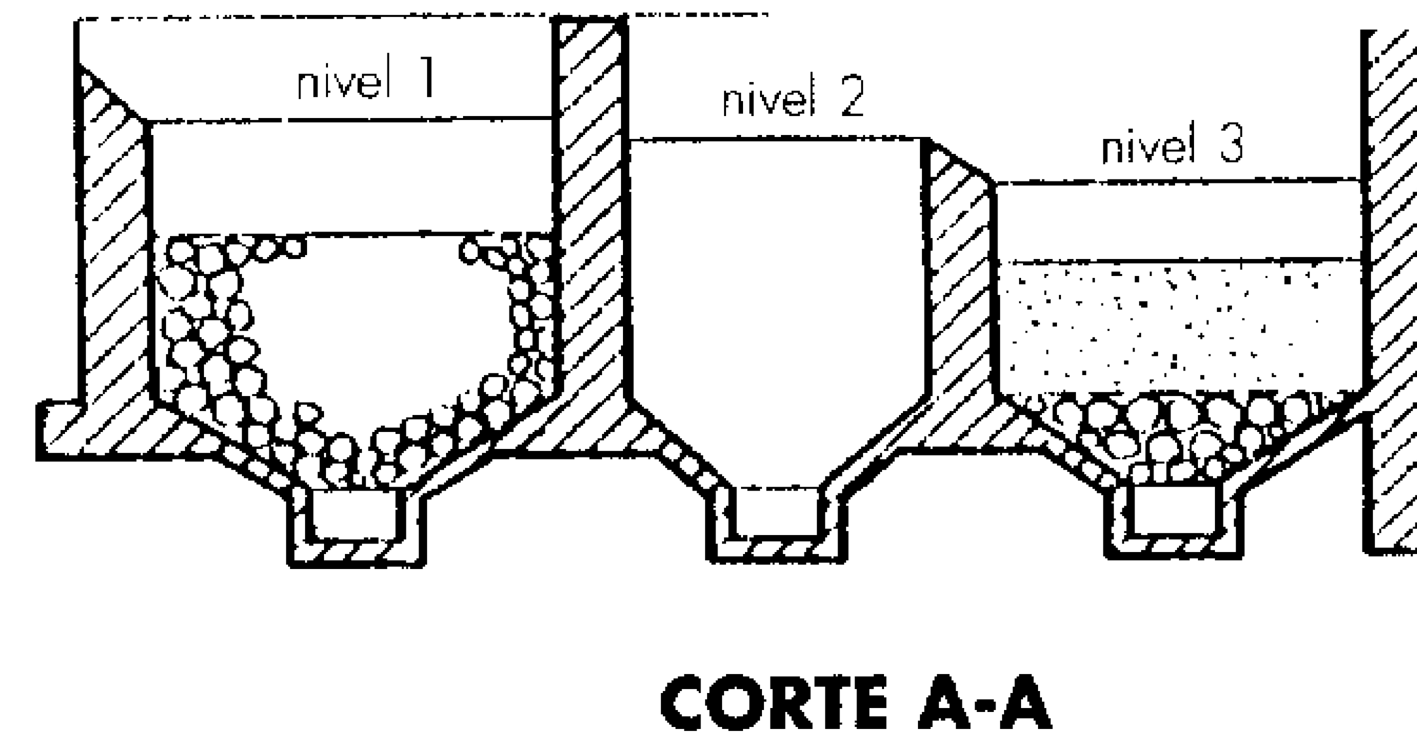
DISTRIBUCIÓN

3) Prefiltro de grava con flujo vertical en serie

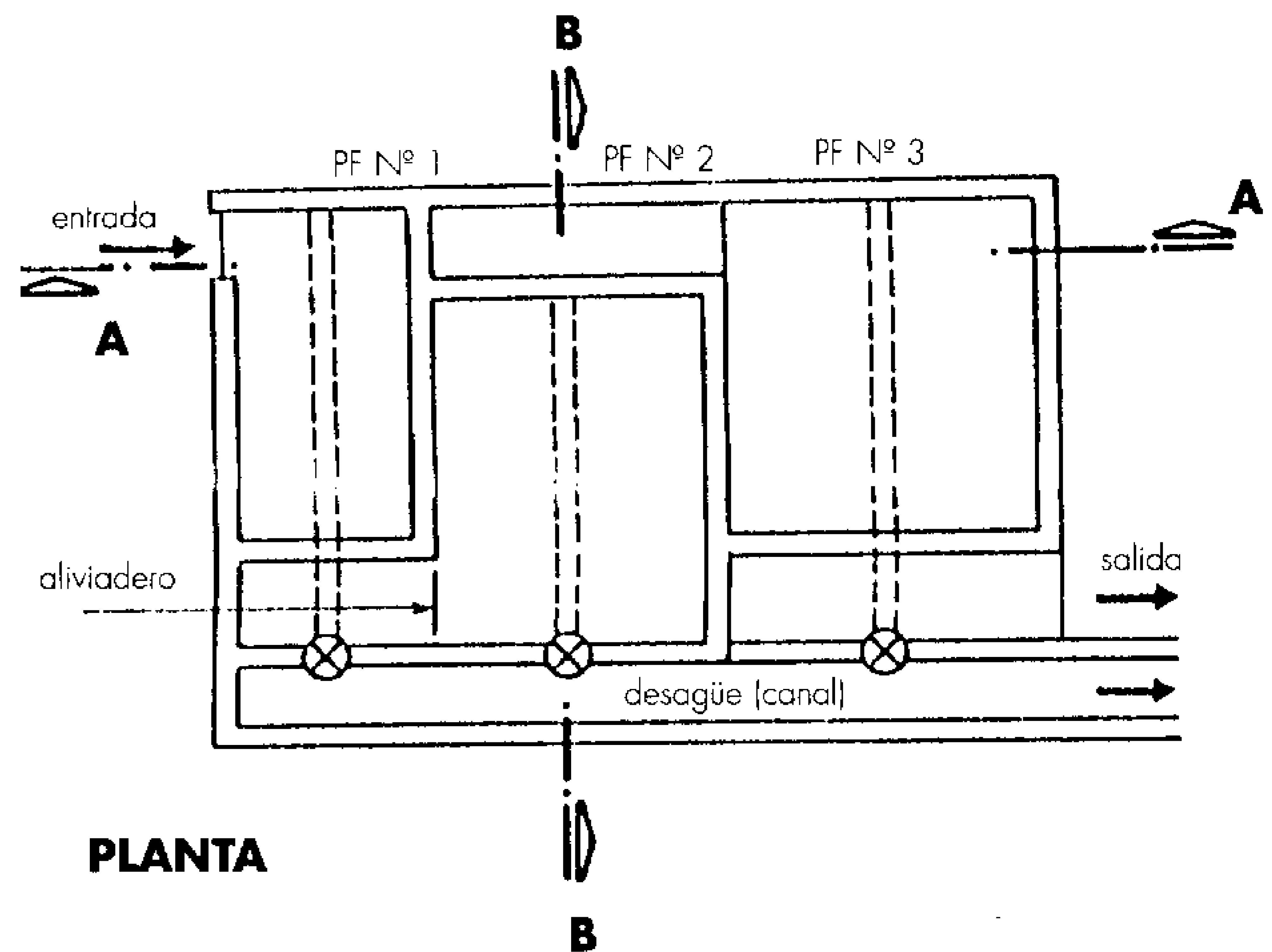
(CEPIS 1984)



CORTE B-B

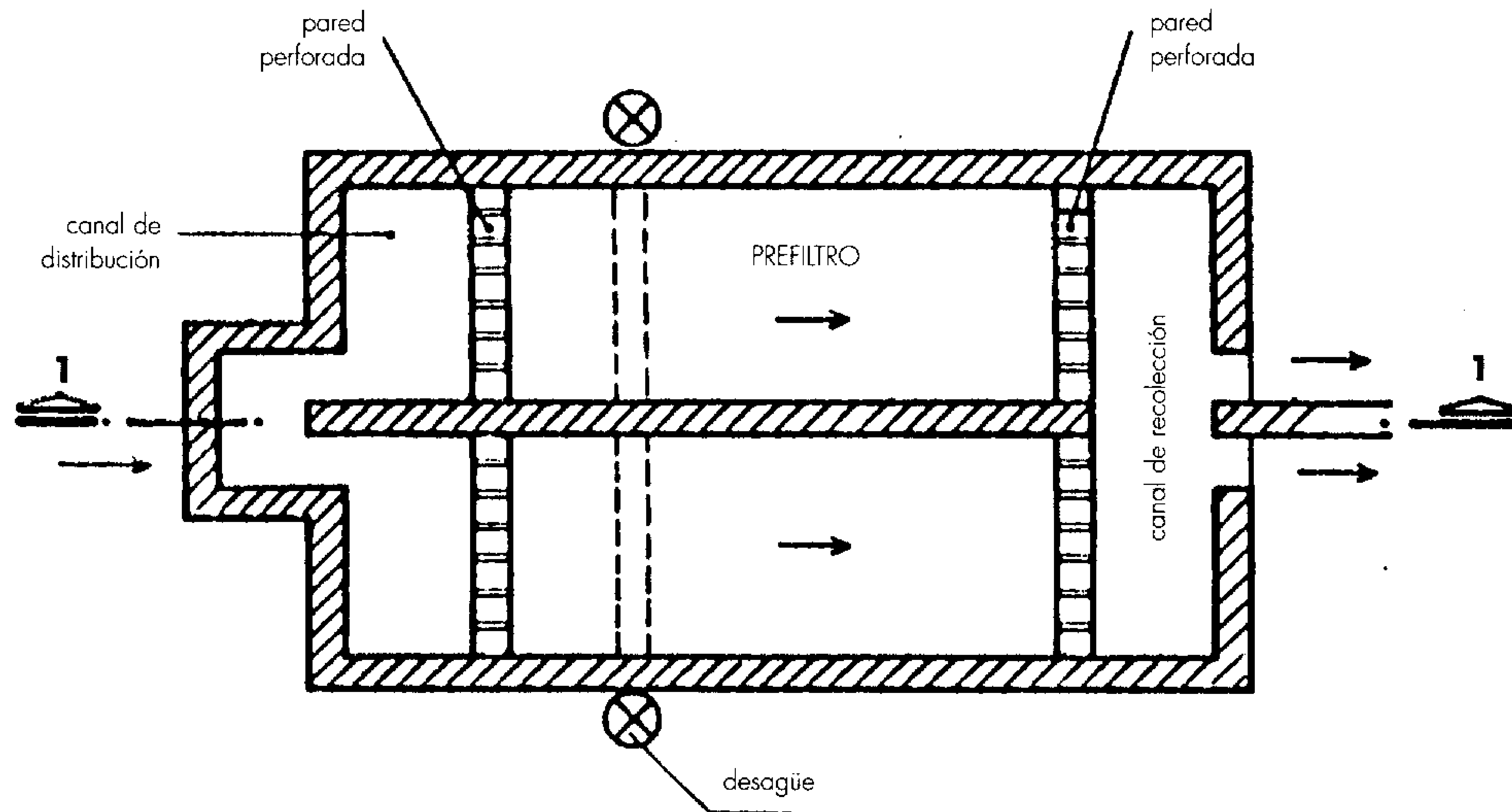


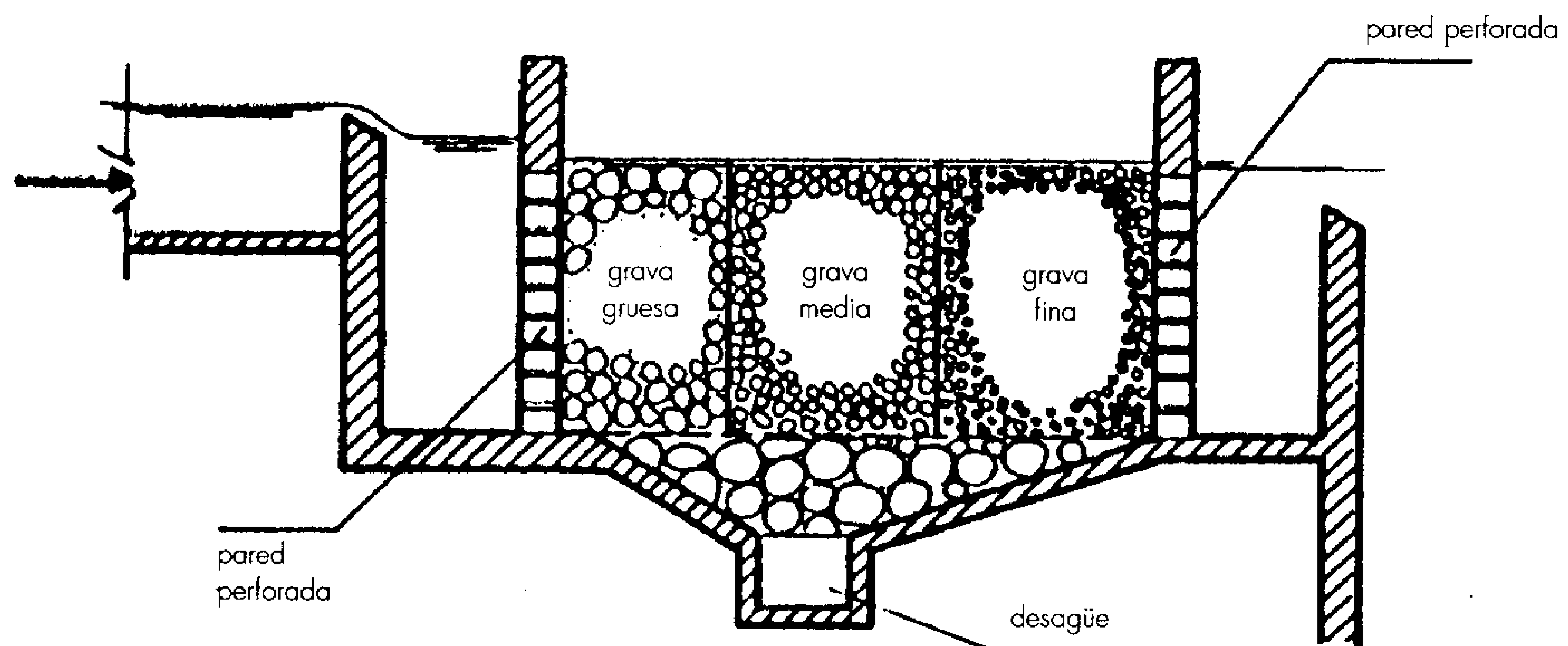
CORTE A-A



PLANTA

4) Prefiltro de grava con flujo horizontal





FILTRACIÓN: Filtro lento modificado con limpieza por trillado

El filtro lento en arena cuyo modelo se propone a continuación se diferencia del filtro lento convencional de altura de agua variable en los siguientes puntos:

- Cuenta con estructuras simplificadas de entrada y salida del agua con respecto a los filtros convencionales sin afectar la función que cumplen.
- Considerando que la principal actividad biológica en el lecho de arena transcurre en las primeras capas y que la alta temperatura amazónica favorece esta actividad, se propone una altura de lecho de 35 cm, lo que permite una remoción de coliformes del 95%.
- Para la limpieza del lecho filtrante se aplica el método de trillado con flujo de agua ascendente, como se muestra en la página 29.

Con las modificaciones anteriores se consigue reducir el costo directo de construcción de los filtros en aproximadamente un 40% (simplificación de las estructuras y reducción de la altura de la caja del filtro), además de facilitarse su operación.

La selección de la arena para el lecho filtrante es un punto crítico, pues el transporte de arenas seleccionadas desde lugares lejanos eleva significativamente los costos: puede representar el 30% de los costos directos de construcción de los filtros. La literatura técnica es muy exigente con respecto a las características de las arenas, sin embargo con un sencillo método de tamizado y lavado de arenas disponibles localmente puede obtenerse un lecho filtrante adecuado sin afectar la eficacia del filtro (ver capítulo *Operación y mantenimiento*).

Descripción

Durante la operación normal de filtrado el agua ingresa por la parte superior del filtro a la capa de agua sobrenadante. La tubería de ingreso tiene dos orificios que permiten purgar las posibles acumulaciones de aire en la parte alta de la tubería de ingreso. El agua en la capa sobrenadante permanecerá durante varias horas, periodo durante el cual las partículas suspendidas en el agua pueden sedimentar.

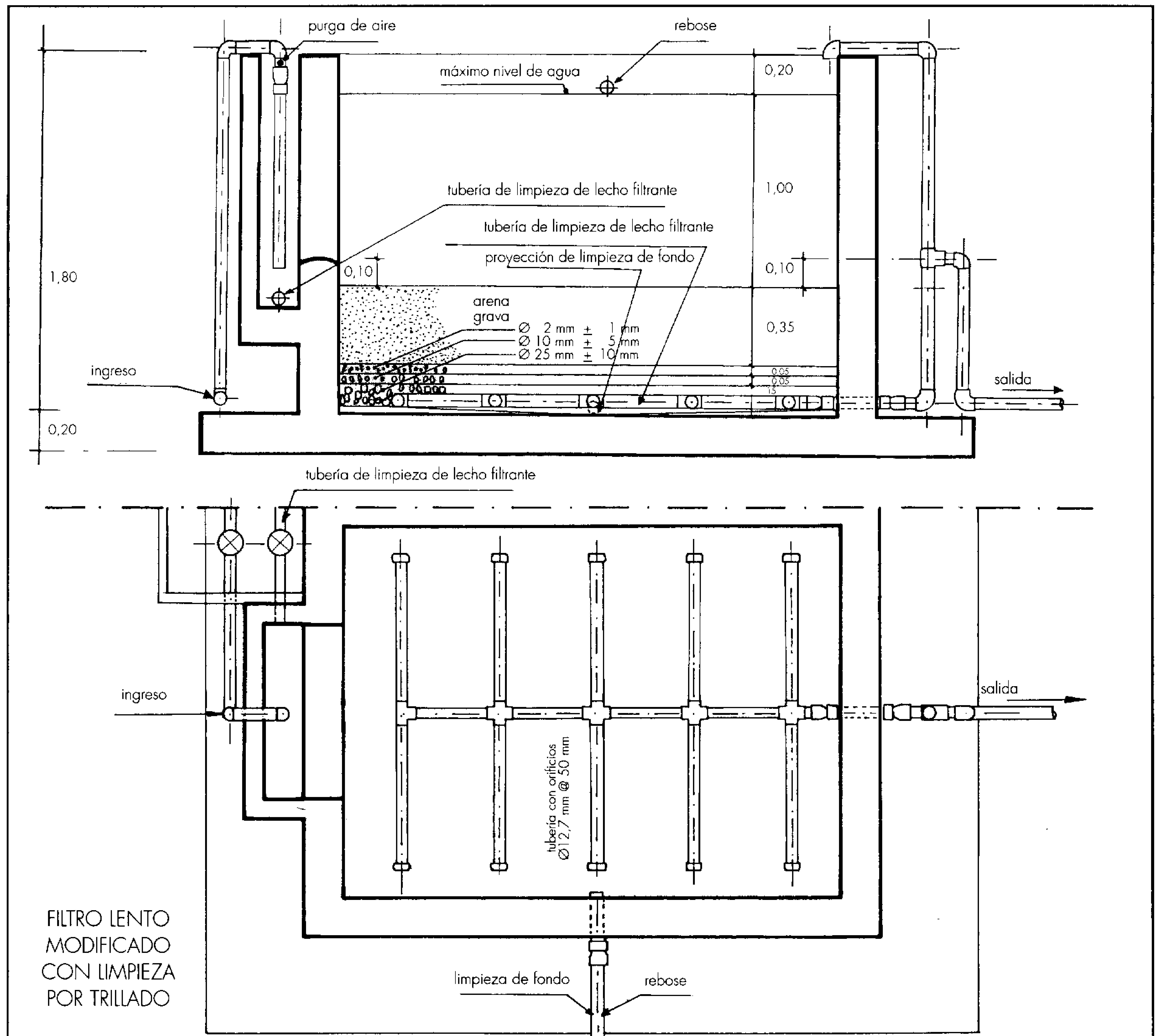
El nivel de la capa de agua sobrenadante se va elevando con la obstrucción del filtro hasta llegar al rebose, momento en el cual es necesario lavar el lecho de arena. Por encima del rebose se deja una altura libre de 20 cm.

En la capa superficial de arena se desarrolla la mayor actividad biológica y se remueve la mayoría de organismos patógenos del agua. La altura del lecho mide entre 30 y 40 cm, dependiendo de la calidad del agua bruta. Las paredes interiores de la caja del filtro en el tramo ocupado por el lecho filtrante deben presentar un acabado rugoso que impida la formación de cortocircuitos.

Es necesario realizar un proceso de tamizado de la arena para eliminar granos de arena demasiado gruesos y finos, y lavar la grava y arena antes de colocarlas en el filtro para eliminar la materia orgánica y arcillas (ver capítulo *Operación y mantenimiento*).

El agua atraviesa el lecho filtrante de arena y es recogida por el sistema de drenaje en el fondo, constituido por tuberías perforadas que la conducen a la siguiente unidad. Sobre las tuberías perforadas del fondo se encuentran las capas de grava que cumplen la función de soporte de la arena.

En el exterior del filtro, la tubería de salida dispone de una tee de 10 a 20 cm por encima del lecho de arena para evitar descargas accidentales del filtro durante la operación, lo que podría afectar a la capa de microorganismos y evitar la formación de presiones negativas. Esta tubería cumple la misma función del vertedero de control del nivel mínimo en los filtros convencionales.



FILTRO LENTO
MODIFICADO
CON LIMPIEZA
POR TRILLADO

El canal de limpieza permite el lavado por el método de trillado al recoger el agua que arrastra las impurezas desprendidas del lecho durante el rastrillado en húmedo.

Criterios de diseño

PARÁMETRO	VALORES	
Número de prefiltros (n)	≥ 2	
V_F: Tasa de filtración (caudal/área) (m/h)		
FL	0,1 - 0,2	
Sedimentador o prefiltro + FL	0,15 - 0,3	
Sedimentador + prefiltro + FL	0,3 - 0,5	
Área de un filtro (A)	$A = Q/(n \times V_F)$	
Coeficiente de costo mínimo (K)	$K = 2n/(n + 1)$	
Largo del filtro (m)	$L = \sqrt{(\text{área} \times K)}$	
Altura total del lecho de grava (m)	0,1 - 0,3	
Capas	*espesor (m)*	*tamaño (mm)*
capa 1 (grava)	≥ 0,05	1,5 - 4,0
capa 2 (grava)	≥ 0,05	4 - 15
capa 3 (grava)	≥ 0,15	10 - 40
Altura del lecho de arena (m)	0,3 - 0,4	
Diámetro efectivo de la arena (D_{10}) (mm)	0,15 - 0,4	
Coeficiente de uniformidad (D_{60}/D_{10})	1,8 - 3	
Altura del borde libre (m)	0,2	
Altura de capa de agua sobrenadante (m)	1 - 1,5	

- Cuanto más pequeño sea el diámetro efectivo de la arena, mayor eficacia de remoción bacteriológica tendrá el filtro, pero también aumentará la frecuencia de lavados. Para aguas claras con alto contenido bacteriológico se seleccionarán diámetros efectivos pequeños, mientras que para aguas turbias se elegirán diámetros efectivos grandes.
- Para aguas de alto contenido bacteriológico se recomiendan velocidades de filtración bajas y un lecho de 0,4 m de espesor.
- Los tubos de drenaje están compuestos por un dren principal y ramificaciones o drenes laterales con orificios de 12,7 mm de diámetro y a 50 mm de distancia entre sí en la parte inferior, por donde ingresará el agua tratada. La separación entre los drenes laterales debe tener 1/16 de la longitud total de los drenes laterales, y con respecto a la pared, una separación de 1/32 de su longitud.
- El dimensionamiento de los tubos de drenaje se efectuará con el criterio de que la velocidad límite en cualquier punto de éstos no sobrepase 0,30 m/s. La relación de velocidades entre el dren principal (V_D) y los drenes secundarios (V_d) debe ser de $V_D/V_d \leq 0{,}462$ para obtener una buena equirrepartición.
- Se debe considerar una altura mínima de 3 m desde la salida del agua de los prefiltros hasta la base del filtro, para que pueda usarse el agua efluente de los prefiltros en el lavado con flujo a contracorriente de los filtros. Esta altura permite vencer la pérdida de carga generada por la colmatación de los filtros, y que el agua fluya con normalidad durante el lavado.

DESINFECCIÓN: clorador artesanal por goteo

Descripción

- ***Depósito de solución madre***

Consiste en un pequeño tanque de material noble sobre el reservorio, colocado cerca del ingreso de agua y junto a la tapa sanitaria. El interior de las paredes y el piso del clorador deben revestirse con una capa de 2 cm de cemento con sika para evitar fugas. Es importante que no haya fugas –sobre todo por el piso– porque el cloro podría deteriorar la estructura del reservorio. El piso tendrá una ligera inclinación hacia la tubería de limpieza. El depósito debe tener como máximo una capacidad de almacenado para siete días.

- ***Tapa del clorador artesanal***

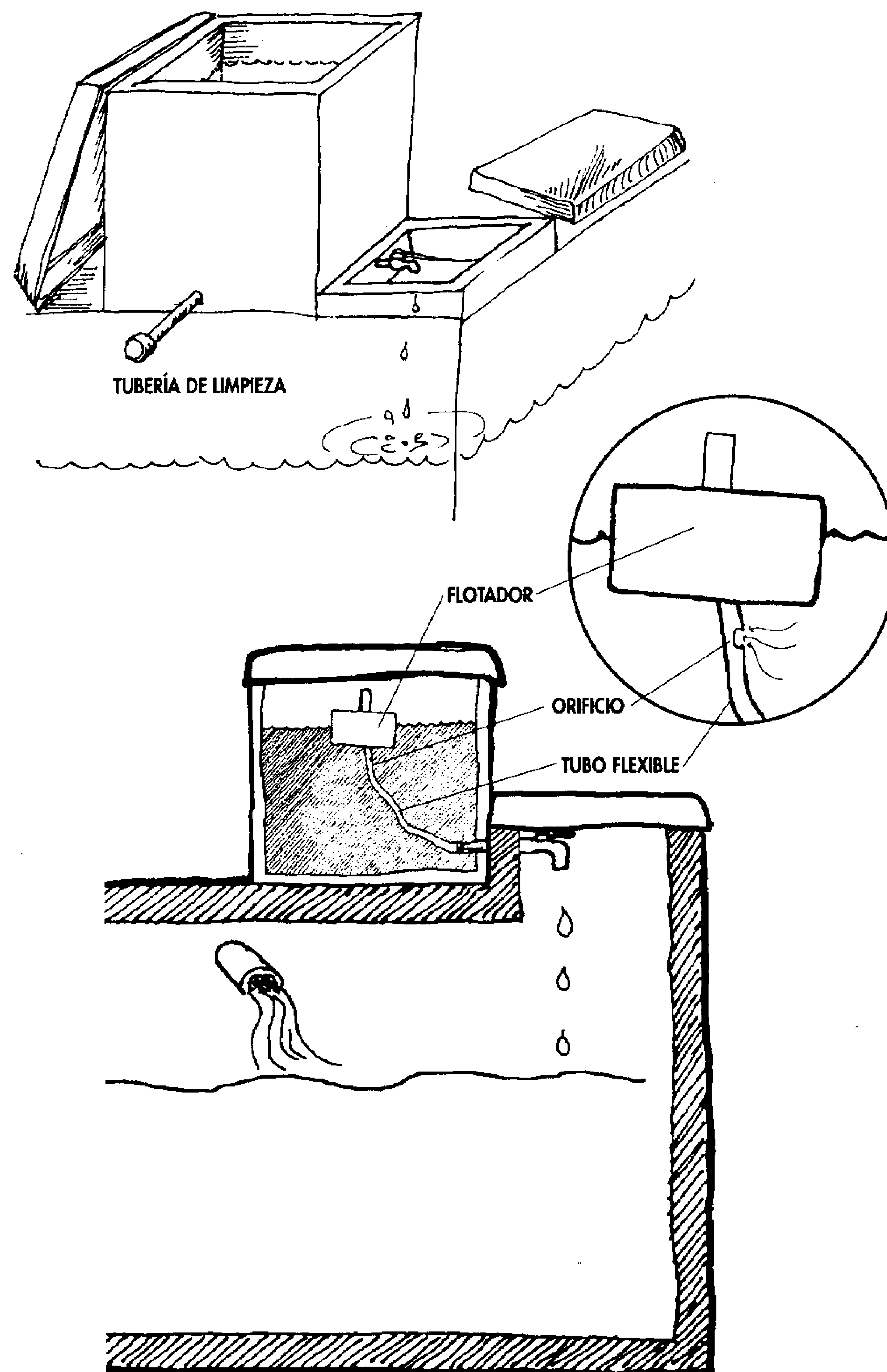
La tapa del clorador, así como la del reservorio, deben tener su candado para evitar que personas extrañas lo manipulen. Debe estar siempre en su sitio para evitar las fugas de cloro por evaporación. A pesar de ello, el cloro puede evaporarse por las rendijas que quedan entre la tapa y las paredes del clorador. Para evitarlo se fija una cámara de llanta con clavos a los bordes del depósito, de modo que el cierre sea hermético.

- ***Instalación por goteo***

Consta de una tubería de 1/2" y un caño de plástico de 1/2" colocados a 3 cm por encima del piso del clorador. El caño sirve para controlar el goteo. El sistema de control de goteo constante está compuesto por un flotador y una tubería con un orificio para que la carga –y, por tanto, el goteo– sean constantes.

- ***Tubería de limpieza***

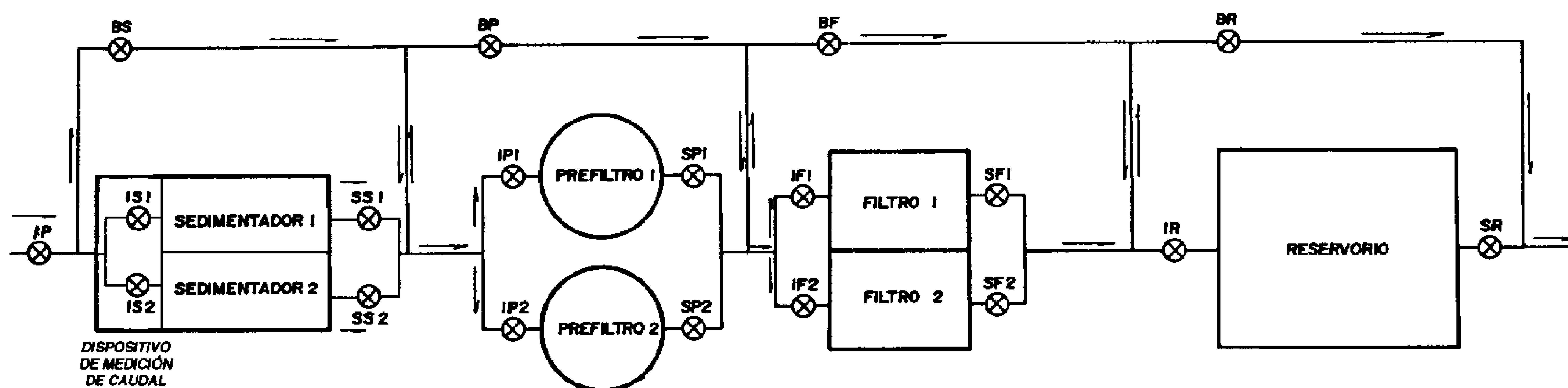
Es una tubería de plástico de 1/2" a ras del suelo del clorador. A la salida tiene un tapón que se abrirá cuando sea necesario limpiar el clorador (Marrón 1998b).



Operación y mantenimiento

En la entrada del agua a la planta de tratamiento debemos instalar un dispositivo que permita medir el caudal, con su correspondiente válvula de ingreso para regular el caudal de operación de la planta.

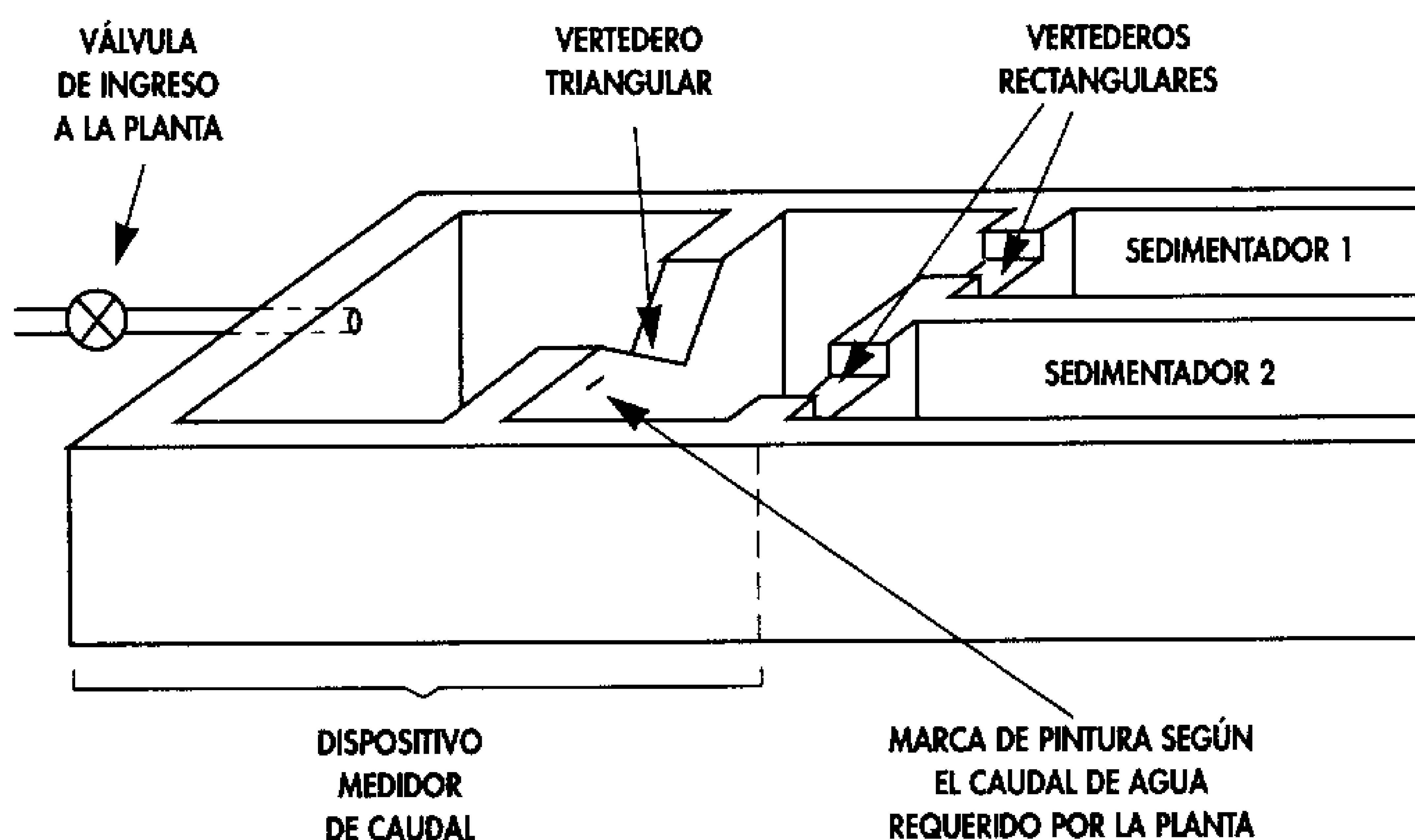
A continuación presentamos el esquema de válvulas para la conducción del agua tratada. Las válvulas de *by-pass* (B) permiten que la planta siga operando aunque una unidad se encuentre fuera de servicio.



IP : Ingreso planta	IP1 : Ingreso prefiltro 1	IF1 : Ingreso filtro 1	IR : Ingreso reservorio
IS1 : Ingreso sedimentador 1	SP1 : Salida prefiltro 1	SF1 : Salida filtro 1	SR : Salida reservorio
IS2 : Ingreso sedimentador 2	IP2 : Ingreso prefiltro 2	IF2 : Ingreso filtro 2	BR : *By pass* reservorio
SS1 : Salida sedimentador 1	SP2 : Salida prefiltro 2	SF2 : Salida filtro 2	
SS2 : Salida sedimentador 2	BP : *By pass* prefiltros	BF : *By pass* filtros	
BS : *By pass* sedimentadores			

ESQUEMA DE VÁLVULAS EN LA CONDUCIÓN DEL AGUA TRATADA

Se recomienda que el dispositivo medidor de caudal emplee un vertedero triangular y dos rectangulares, según la figura.



Para regular el caudal, se acciona la válvula de ingreso a la planta IP, hasta que el nivel del agua en el vertedero triangular sea el que indica la marca de pintura. Esta marca se coloca según el caudal de operación de la planta. Los vertederos rectangulares permiten supervisar el ingreso uniforme de agua a los dos sedimentadores. Dos compuertas simples de madera hacen la función de válvulas IS1 y IS2, para cerrar el ingreso de agua a algún sedimentador durante su mantenimiento.

PREFILTRO EN CAPAS DE FLUJO ASCENDENTE

Los prefiltros sirven para eliminar las impurezas que enturbian el agua. Si estas impurezas entraran directamente al filtro lo obstruirían y, en consecuencia, deberíamos realizar lavados con frecuencia.

El agua con impurezas entra por la parte inferior y sube a través del lecho filtrante de grava. Éste retiene las algas, un buen porcentaje de bacterias y toda materia en suspensión que supere los 10 mm de diámetro. Luego, la tubería superior recoge el agua para conducirla a la siguiente unidad de tratamiento.

Operación del prefiltro en capas de flujo ascendente

- ***Puesta en marcha***

  Para llenar el prefiltro cerramos la válvula de desagüe y abrimos ligeramente la válvula de ingreso para que el caudal moderado no arrastre los sólidos acumulados en el lecho. Podemos ir aumentando este caudal a medida que avanza el proceso de llenado.

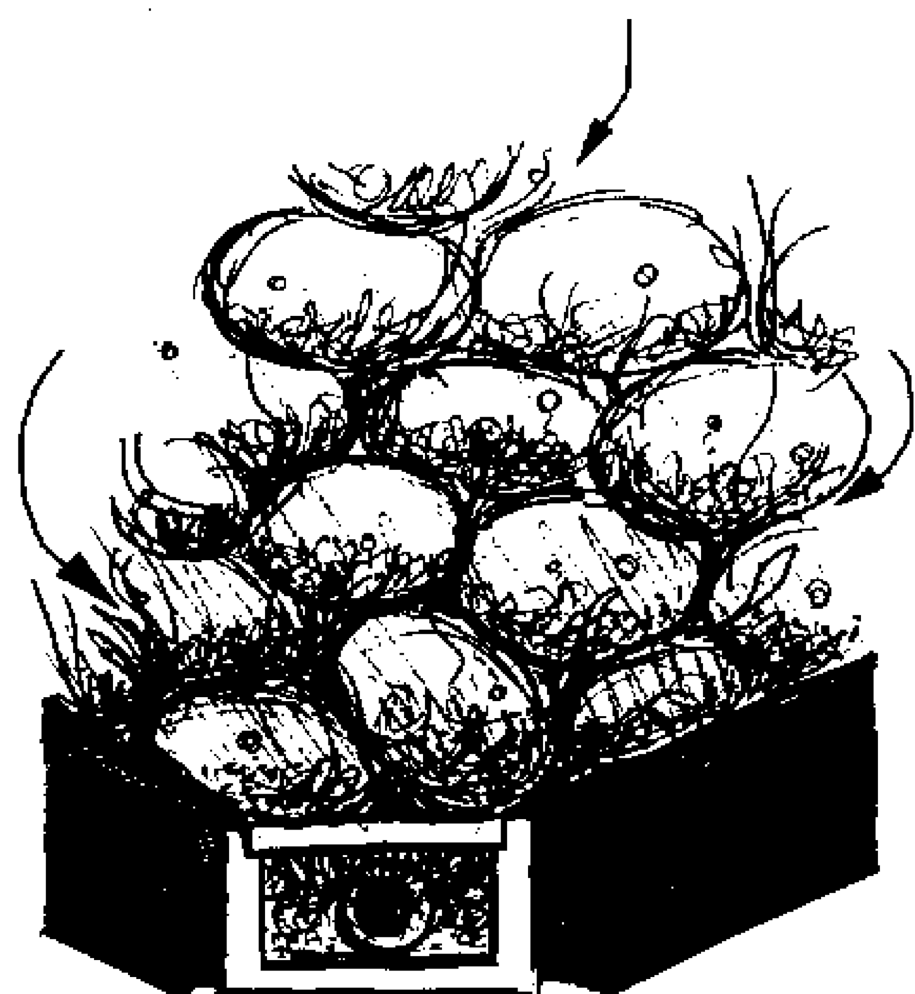
- ***Operación normal de prefiltrado***

  Durante la operación de prefiltrado, las válvulas de ingreso y de salida están abiertas, mientras que la de desagüe permanece cerrada.

  Cuando sea preciso, retiramos las algas y elementos flotantes.

- ***Limpieza hidráulica***

Con la descarga descendente del prefiltro lograremos arrastrar las partículas que han sido retenidas en la grava durante su operación normal. Para realizar una buena limpieza es importante que descarguemos completamente el prefiltro. Debemos repetir esta operación dos o tres veces hasta que el agua de lavado salga clara.



Debemos evitar que el prefiltro esté vacío durante mucho tiempo, porque el material adherido se compacta y el lavado hidráulico posterior resulta menos eficaz.

Para evitar la compactación de los lodos acumulados y reducir la frecuencia de lavado manual de la grava, debemos llevar a cabo una limpieza hidráulica aproximadamente cada semana en época de lluvias (alta turbidez) o cada dos meses en época de sequía (baja turbidez).

Los pasos a seguir son:

1) Cerramos la válvula de ingreso y abrimos la de desagüe.
2) Esperamos hasta que la unidad se haya descargado completamente.
3) Volvemos a llenar la unidad como se indica en el apartado de puesta en marcha, es decir, con caudal moderado.
4) Si el agua de limpieza ha salido turbia, repetimos la operación.

- ***Limpieza manual***

Llega un momento en el que, luego de sucesivas limpiezas hidráulicas, ya no se elimina el material acumulado en el lecho filtrante porque está adherido a las paredes de la grava. Entonces procedemos al lavado manual del prefiltro. Como referencia, este lavado debe hacerse al menos una vez al año después de la época de lluvias.

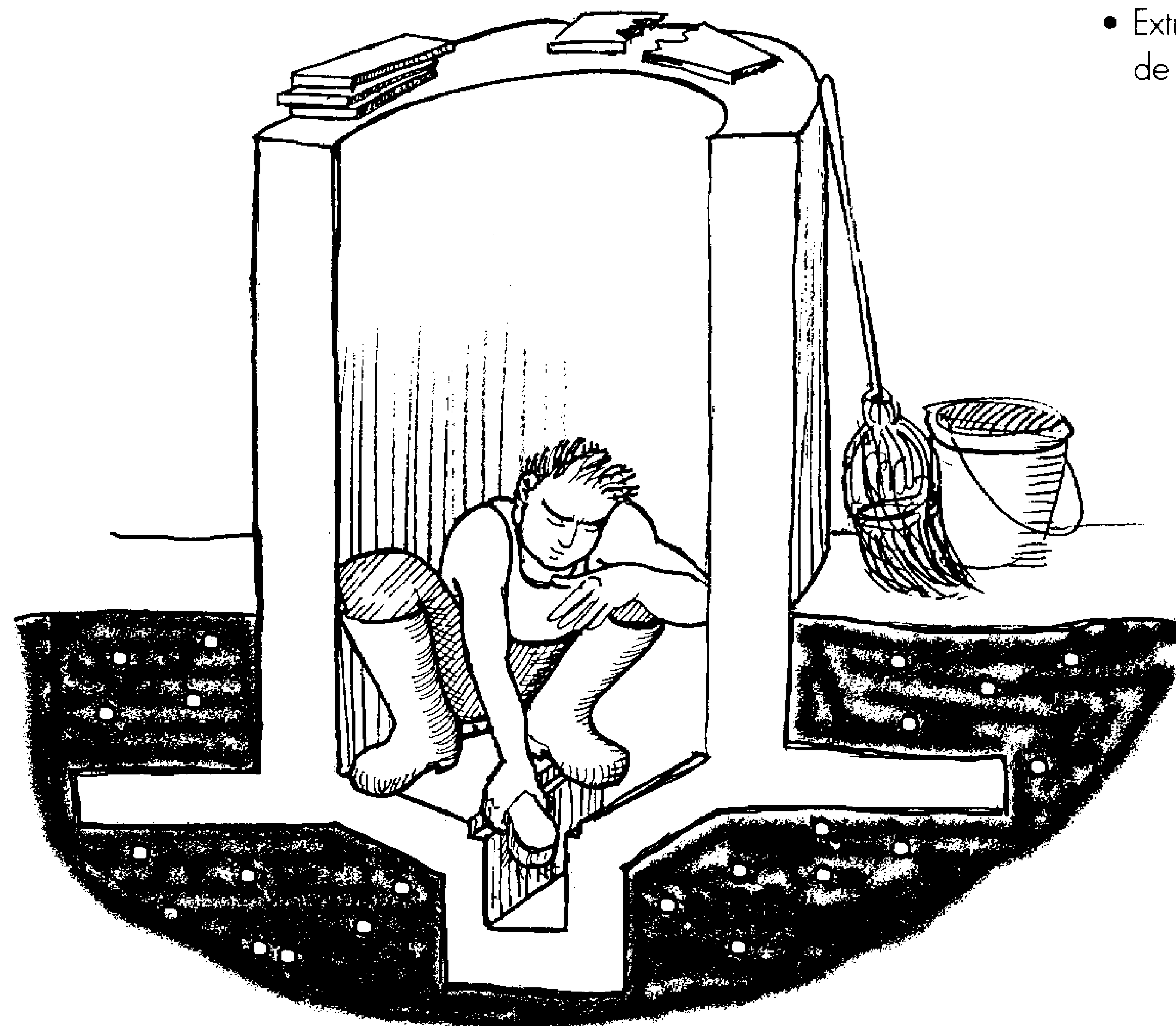
Primero retiramos la canaleta de recogida de agua tratada. Extraemos la capa superior y la lavamos en un depósito con agua. El mejor procedimiento para lavar la grava consiste en agitarla mecánicamente en un depósito, para que la fricción desprenda los sólidos adheridos a la superficie de la grava. Utilizamos, por ejemplo, un cilindro acondicionado como indica la figura. Restregamos la grava con ayuda de un palo mientras ingresa agua limpia al cilindro, alimentado por una manguera. Otra manguera que sale de un nivel superior del cilindro, se lleva el agua con las impurezas de la grava.



Procedemos de la misma manera con la siguiente capa, procurando no mezclar las gravas de las diferentes capas. Si por alguna razón se mezclan, deberemos hacer un nuevo cribado para separarlas.

El prefiltro debe contener agua para evitar la compactación del material filtrado en las paredes de la grava que aún no se ha lavado y que permanece en el prefiltro.

Una vez que el prefiltro está vacío, escobillamos las paredes y reacomodamos las losas del fondo.



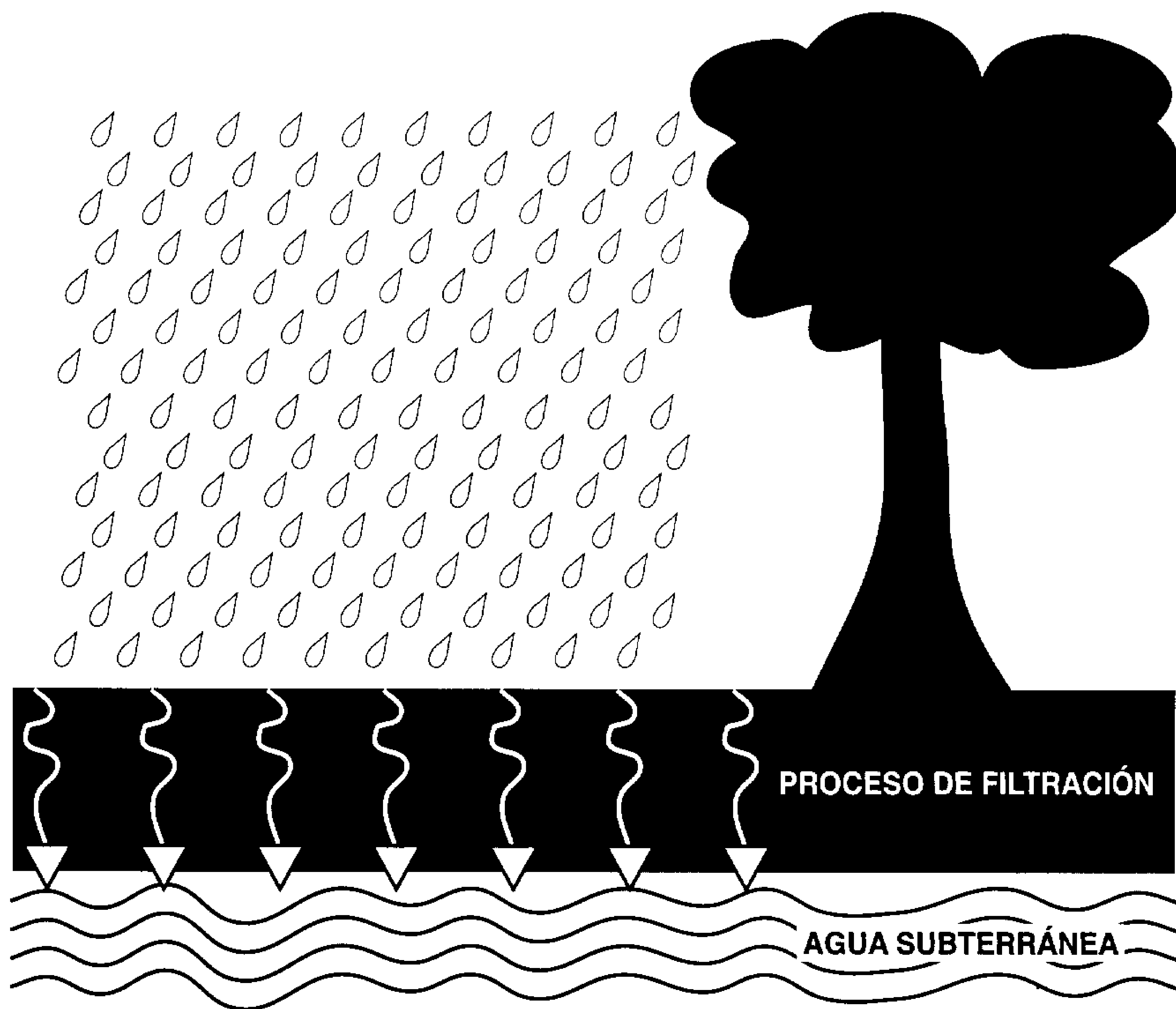
Inmediatamente después del lavado, para evitar posibles contaminaciones, reinstalamos la grava cuidando de disponer cada tamaño en la capa correspondiente.

Mantenimiento de los prefiltros

- Cortamos la maleza, arbustos y árboles alrededor de los prefiltros.
- Protegemos el suelo contra la erosión.
- Reparamos las grietas en las paredes de la estructura.
- Revisamos las válvulas y engrasamos si es necesario.
- Extraemos elementos flotantes en la capa de agua.

FILTROS LENTOS EN ARENA

La principal característica de la filtración lenta es que permite la eliminación de las bacterias y virus existentes en el agua. El mecanismo es muy efectivo porque simula exactamente el proceso de purificación que se da en la naturaleza cuando el agua de lluvia atraviesa los estratos de la corteza terrestre hasta encontrar los acuíferos o ríos subterráneos.



En la superficie de la arena se forma una película delgada y gelatinosa que digiere y elimina las impurezas del agua. Después de pasar esta capa, el agua ingresa en el lecho de arena –donde se llevará a cabo la parte principal del proceso de tratamiento–, y sale de ahí purificada.

Durante el proceso de filtración, las impurezas entran en contacto con la superficie de los granos de arena y son retenidas por éstos. Posteriormente se desarrollan procesos de degradación química y biológica de las impurezas retenidas a formas más simples e inofensivas, que se llevan en solución o permanecen en el lecho de arena como material inerte hasta el lavado del filtro.

Otras ventajas de la filtración lenta consisten en que no requiere de la aplicación de sustancias químicas y que un operador con mínimas habilidades y una atención regular está en capacidad de hacer un óptimo manejo.

Operación del filtro lento en arena con limpieza por trillado

• *Preparación de la arena del lecho*

Es importante eliminar de la arena los granos más finos y los más gruesos para mantener una buena porosidad en el lecho y no afectar su eficacia para eliminar bacterias y virus. Ésta también deberá estar libre de arcillas y materia orgánica.

Para preparar la arena debemos tamizarla de este modo: colocamos los tamices fijos e inclinados a 45° y lanzamos la arena con fuerza contra el tamiz usando una palana. La arena debe estar completamente seca durante esta tarea (Cánepa 1988).

Los pasos a seguir son:

1) Pasamos la arena por un tamiz de 2,54 cm (1") de abertura, para eliminar trozos de madera, piedras, etcétera.

2) Pasamos la arena por un tamiz de 1,588 cm (5/8") para retener la arena gruesa.

3) Pasamos la arena por tamices de 0,635 cm (1/4") y 0,317 cm (1/8") para eliminar la arena demasiado fina.

4) Lavamos la arena para eliminar la arcilla y la materia orgánica adheridas a los granos de arena. Para ello, procedemos de la misma manera que en el lavado de gravas.

Para la operación de tamizado necesitaremos ocho personas en total.



• *Puesta en marcha*

Se trata de llenar los dos filtros con flujo ascendente para evitar la acumulación de burbujas de aire.

1) Verificamos que todas las válvulas de los filtros se encuentren cerradas.

2) Llenamos el filtro 1 por la parte superior abriendo la válvula de ingreso (IF1), y abrimos su válvula de salida (SF1).

3) Mientras se llena el filtro 1, cerramos la válvula (IR) de ingreso al reservorio y abrimos la válvula de salida (SF2) del filtro 2 de forma que ingrese por el fondo del filtro 2 el agua tratada en el filtro 1. Al llenarse el filtro 2 con flujo ascendente evitamos que se acumulen burbujas de aire en el lecho de arena.

4) Cuando el agua en el filtro 2 esté a 10 cm sobre el lecho de arena, abrimos su válvula de ingreso (IF2) y cerramos la válvula de ingreso del filtro 1 (IF1).

5) Abrimos la válvula de limpieza de fondo del filtro1, que ha sido llenado por la parte superior, para desaguarlo completamente.

6) Cuando el filtro 1 esté vacío, cerramos su válvula de desagüe y dejamos que el agua tratada en el filtro 2 ingrese por el fondo al filtro 1 para su llenado, hasta que esté a 10 o 20 cm sobre el lecho de arena.

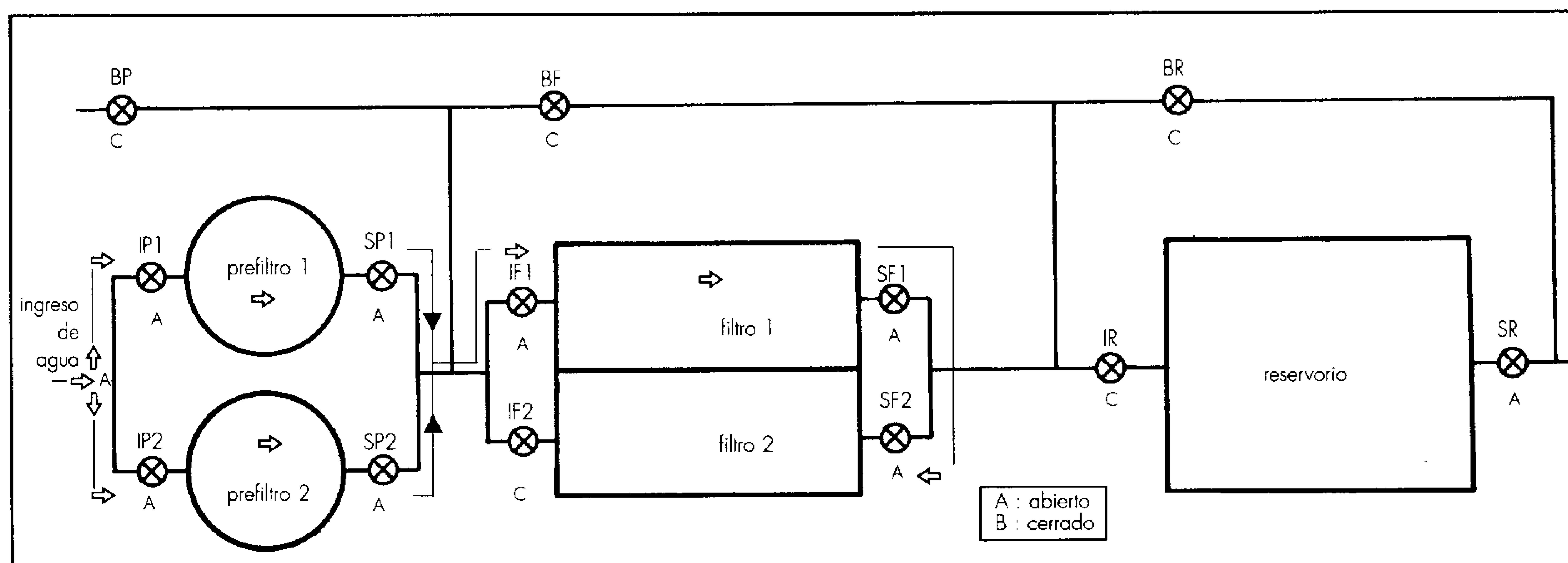
7) Abrimos la válvula de ingreso al filtro 1 (IF1) y la válvula de ingreso al reservorio para la operación normal de filtrado.

- ***Operación normal de filtrado***

Durante la operación de filtrado, las válvulas de ingreso y de salida deben estar abiertas, mientras que las de limpieza de fondo y las de limpieza de lecho filtrante permanecen cerradas.

Cuando sea preciso, retiraremos las algas y elementos flotantes.

Medimos el caudal de entrada a la unidad realizando un aforo. Para ello desenroscamos la unión universal de la tubería descendente por donde ingresa el agua y medimos el tiempo que tarda en llenarse un balde de volumen conocido. Si el caudal de entrada a las unidades de filtración es distinto, regulamos las válvulas de ingreso de tal forma que entre el mismo caudal.



FLUJO DEL AGUA EN EL LLENADO DEL FILTRO 2 DE FORMA ASCENDENTE

- ***Lavado del lecho filtrante***

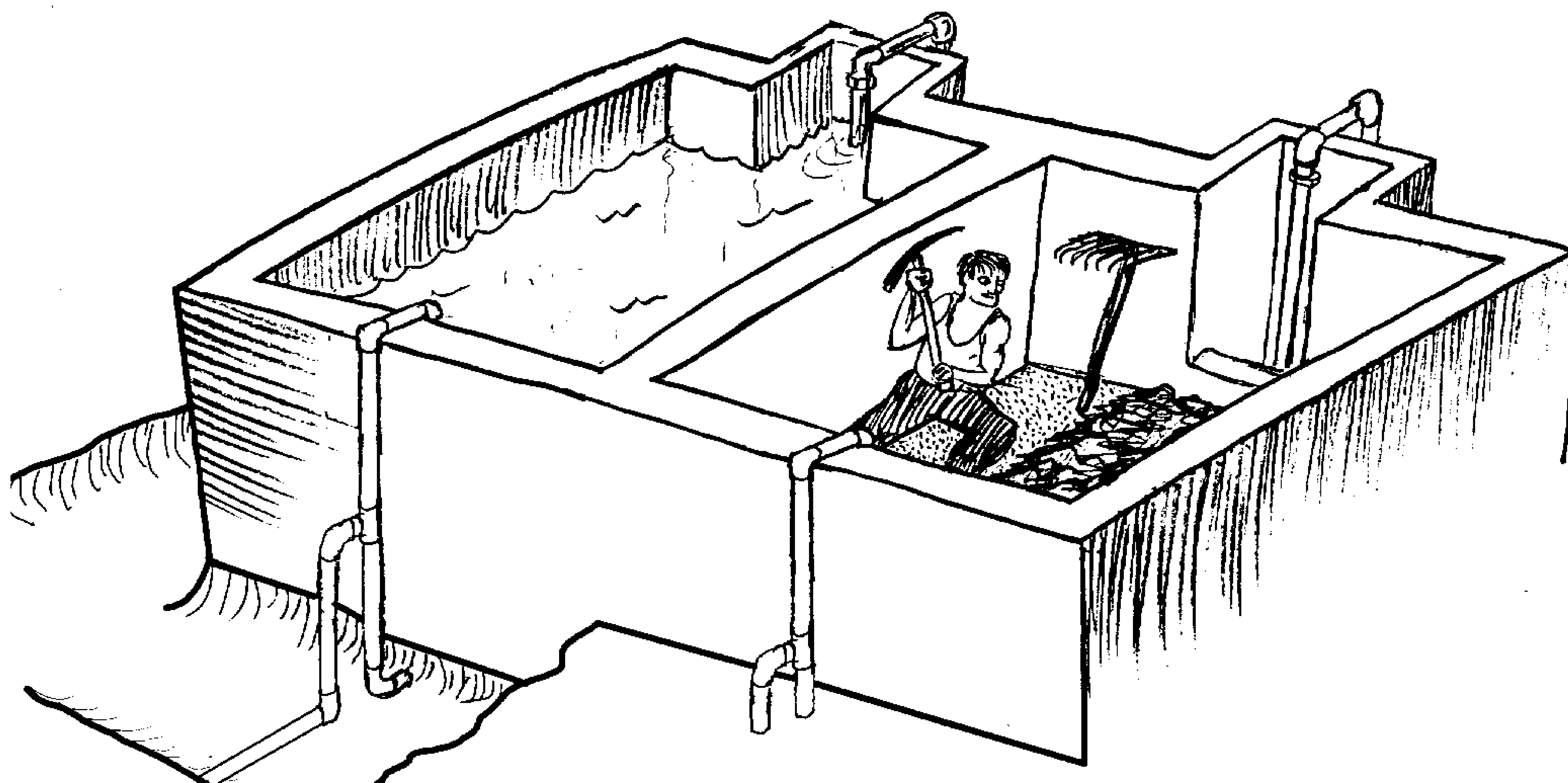
Si el nivel del agua en el filtro se eleva hasta el rebose significa que el lecho de arena se encuentra obstruido y hay que limpiarlo (Cánepa 1988; Marrón 1998a).

Podemos aplicar dos métodos de limpieza, dependiendo de la duración de la carrera de filtración precedente.

- Método de trillado en seco: Lo aplicamos cuando la carrera precedente ha durado más de un mes. Consiste en descompactar la arena y redistribuir el material filtrado para regenerar la porosidad del lecho (Pardon *et al.* 1983). Los pasos a seguir son:

1) Cerramos el ingreso de agua y dejamos filtrar con tasa declinante durante toda la noche.
2) Al día siguiente, retiramos el material flotante y abrimos la válvula de limpieza de fondo hasta que el agua esté unos 15 cm por debajo de la superficie de arena.
3) Con un pico descompactamos el lecho hasta una profundidad de 15 cm y luego con un rastrillo soltamos más la arena para esponjarla. Dejamos la superficie de la arena uniforme en todo el filtro.
4) Abrimos la válvula de ingreso al filtro.

Mientras se está trillando un filtro en seco debemos cuidar que sólo ingrese en el otro filtro –que permanece en operación– la cantidad de agua que le corresponda. Para ello, cerramos la válvula de ingreso al filtro hasta que su caudal de operación sea el correcto. De esta manera, el agua sobrante rebosará en los prefiltros. Esta operación se realizará siempre que uno de los dos filtros esté fuera de servicio.



– <u>Método de trillado en húmedo con remoción de material filtrado</u>: Lo aplicamos cuando la carrera precedente ha durado menos de un mes. Consiste en hacer pasar flujo a contracorriente (ascendente) mientras se rastrilla el lecho hasta que el agua de lavado esté menos turbia. El agua de lavado arrastrará la suciedad y los elementos acumulados que se desprenden de la arena en el rastrillado. Después aplicamos el método descrito de trillado en seco. Los pasos a seguir para el lavado del filtro 1 son:

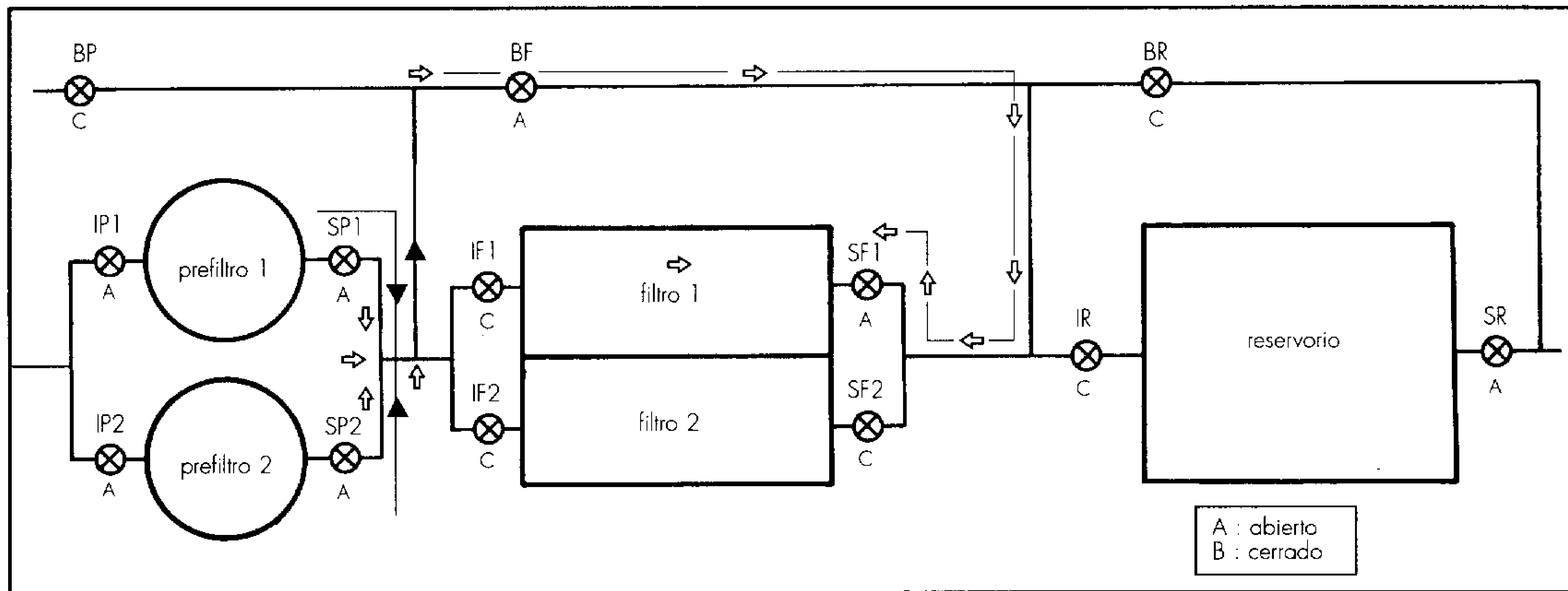
1) Cerramos el ingreso de agua (IF1) y dejamos filtrar con tasa declinante durante toda la noche.

2) Al día siguiente, retiramos el material flotante y abrimos la válvula de limpieza de lecho filtrante. Cerramos las válvulas de ingreso a los filtros, la de salida del filtro (SF2) que no se va a lavar y la de ingreso al reservorio (IR), y abrimos la válvula de *by pass* de los filtros (BF) para permitir el ingreso del agua efluente de los prefiltros por la parte inferior del filtro a lavar –es decir, por la tubería de salida de agua filtrada– (ver esquema).

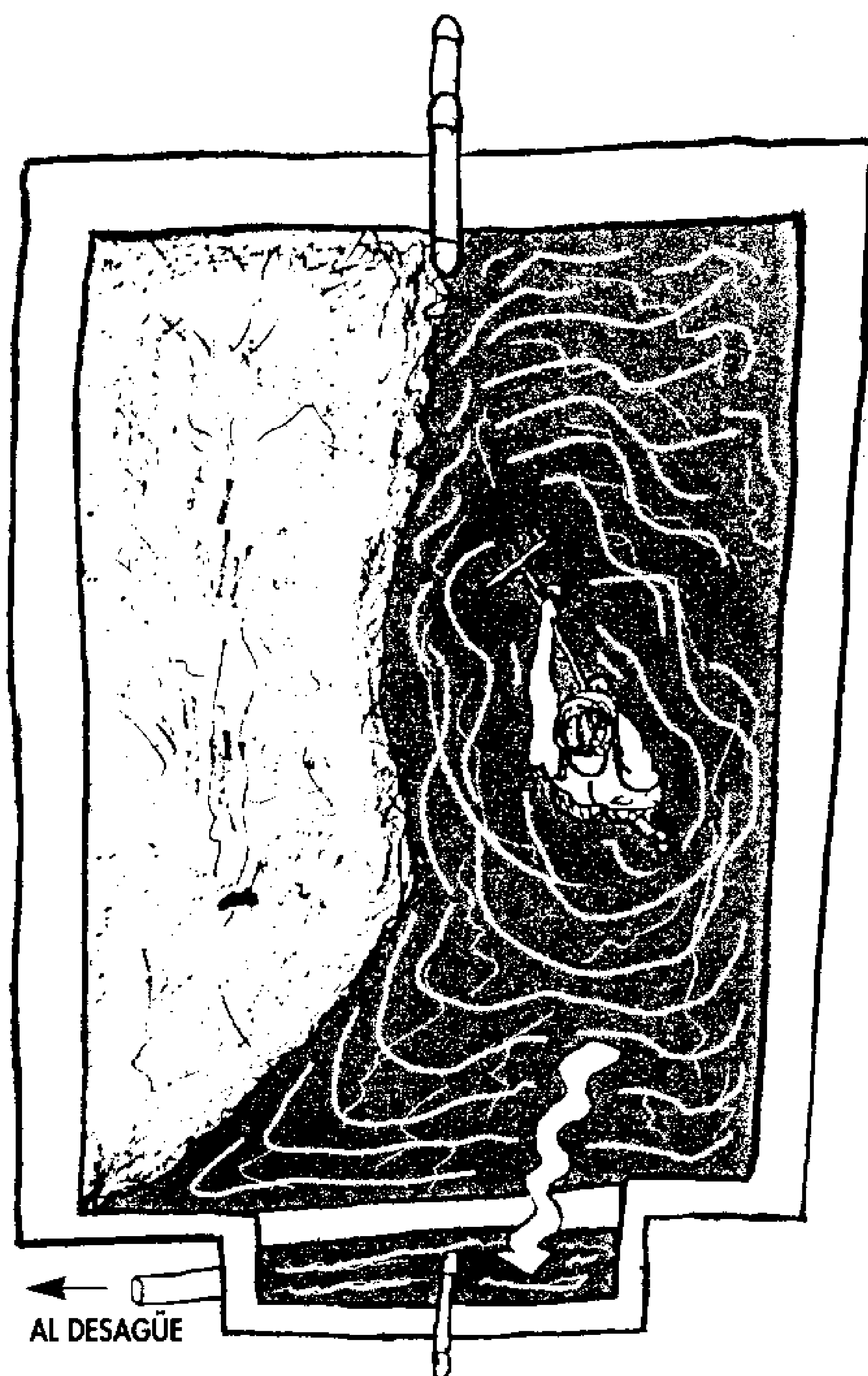
3) Rastrillamos el lecho de arena en toda su profundidad (30 a 40 cm) mientras el agua fluye a contracorriente hasta que el agua salga más clara, y cuidando de no rastrillar la capa soporte de grava que está debajo de la arena. Para ello, rastrillamos por hileras los 15 o 20 cm superficiales de todo el filtro, luego retiramos la arena superficial trillada de la mitad del filtro hacia la otra mitad, como se indica en el dibujo, y rastrillamos los 15 o 20 cm restantes. Colocamos en su sitio la arena retirada y repetimos la operación para la otra mitad del lecho. Debemos procurar no perder arena por el rebose del agua de limpieza. Esta operación puede demorar dos horas y requiere de dos personas que se releven en el rastrillado.

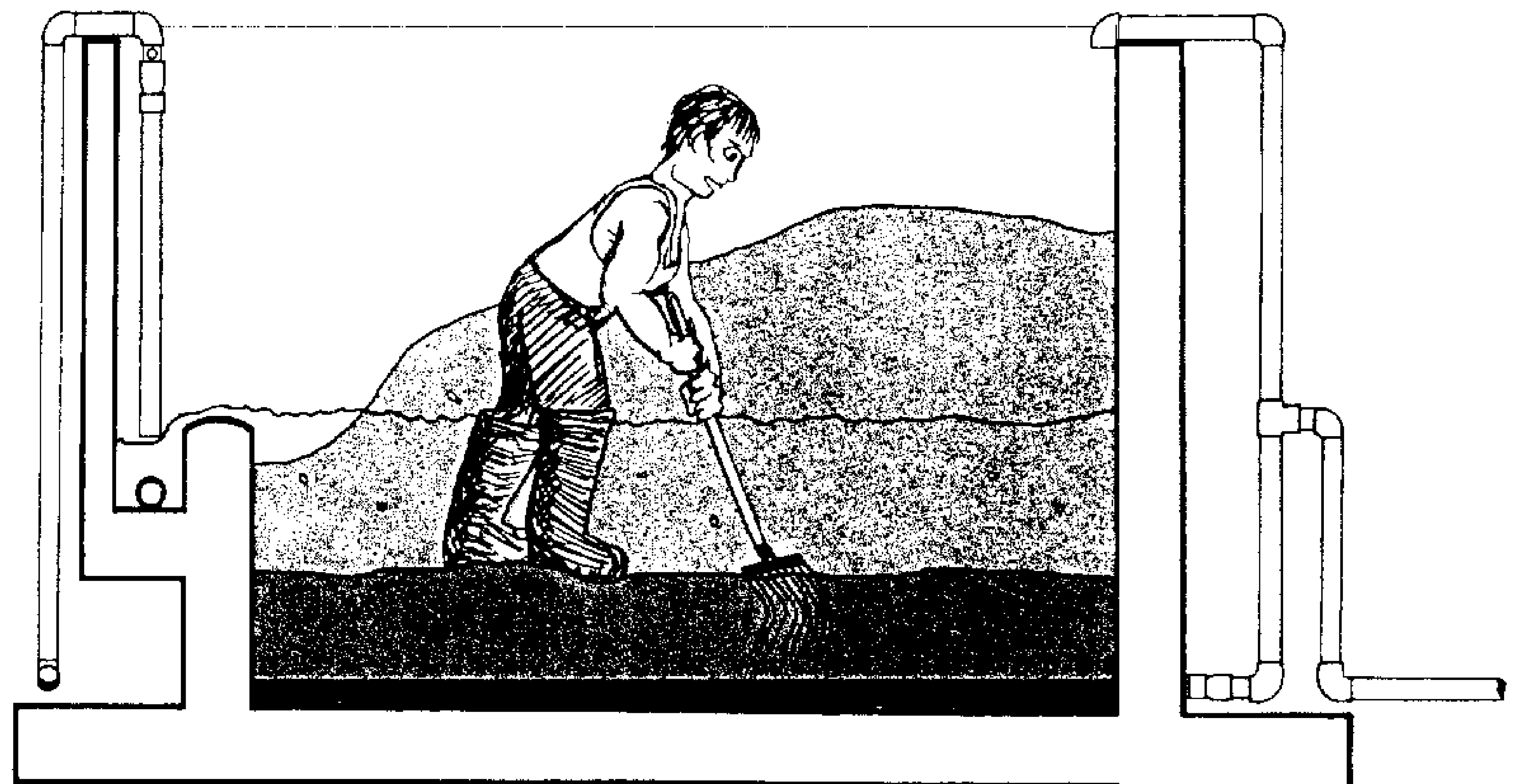
4) Cerramos el ingreso de agua (SF1) y la válvula de limpieza de lecho filtrante del filtro que se está lavando (filtro 1). Abrimos la válvula de ingreso al reservorio (IR), y las válvulas de ingreso (IF2) y salida (SF2) del filtro 2 para ponerlo en operación normal.

5) A continuación, aplicamos el método de trillado en seco al filtro 1.



FLUJO DE AGUA EN EL LAVADO DEL FILTRO 1





Mantenimiento de los filtros

- Cortamos la maleza, arbustos y árboles alrededor de los filtros.
- Protegemos el suelo contra la erosión.
- Reparamos las grietas en las paredes de la estructura.
- Revisamos las válvulas y engrasamos si es necesario.
- Extraemos los elementos flotantes en la capa de agua.
- Controlamos el crecimiento de las algas. Si hay un crecimiento excesivo debemos techar los filtros.
- Controlamos el caudal de entrada a los filtros.
- Controlamos el olor y sabor del agua.
- Llevamos un registro de la turbidez a la entrada de los filtros y de la duración de la carrera de filtración.

- ***Lavado completo del filtro***

Esta operación se realiza cada cinco años.

1) Retiramos la arena y las gravas sin mezclar las gravas de las distintas capas.
2) Lavamos la caja del filtro y las tuberías de drenaje con un cepillo y agua, y las reponemos en caso de deterioro.
3) Lavamos la arena y las gravas.
4) Acomodamos la grava y la arena limpias en su sitio. Si se pierde arena o grava debemos reponerlas.

CLORADOR ARTESANAL POR GOTEO

La filtración lenta en arena produce un agua de muy buena calidad. Sin embargo, es necesario efectuar la cloración para obtener una completa desinfección y evitar futuras contaminaciones del agua durante su transporte y manipulación.

En el clorador prepararemos una solución de cloro con agua y con el caño controlaremos el goteo de esta solución al reservorio para desinfectar el agua.

Operación y mantenimiento del clorador

- ***Aforo, cálculo del goteo y preparación de la solución madre***

  Las siguientes operaciones sólo serán necesarias cuando pongamos a funcionar el clorador y cuando la cantidad de agua que entra al reservorio varíe, por ejemplo, cuando cambie la estación (Marrón 1998b).

  Para calcular el caudal de ingreso al reservorio debemos hacer un aforo. Luego de calcular el caudal, podremos obtener en la siguiente tabla la cantidad de gramos de cloro que necesitamos, el volumen de solución madre que debemos preparar y las gotas que debemos echar por minuto para desinfectar:

CAUDAL (l/s)	**PESO DE CLORO (gramos)**	**VOLUMEN SOLUCIÓN MADRE (litros)**	**GOTAS POR MINUTO**
0,30	115	15	12
0,40	140	18	15
0,50	170	22	18
0,60	208	27	22
0,70	240	31	26
0,80	277	36	30
0,90	308	40	33
1,00	346	45	37
1,20	408	53	44
1,50	524	68	56
1,80	624	81	67
2,00	693	90	74
2,25	770	100	83
2,50	862	112	92

Echamos en un balde la cantidad de cloro obtenida en la tabla, con un poco de agua para disolverla. Vertemos esta mezcla en el clorador y rellenamos con agua hasta completar los litros de solución madre que recomienda la tabla. La solución madre (concentración: 5000 ppm) es la mezcla de cloro y agua que introducimos en el clorador artesanal y que, por goteo, desinfectará el agua en el reservorio. Entonces regulamos el caño para que proporcione aproximadamente las gotas por minuto que indica la tabla. Contamos las gotas que caen en un minuto, y consideramos correcto si el clorador proporciona hasta cinco gotas más o menos de lo que indica la tabla.

Esta tabla considera cloro en polvo HTH al 65%. Si el cloro utilizado tiene otro porcentaje, para calcular el peso necesario haremos la siguiente operación (sólo la segunda columna de la tabla variará):

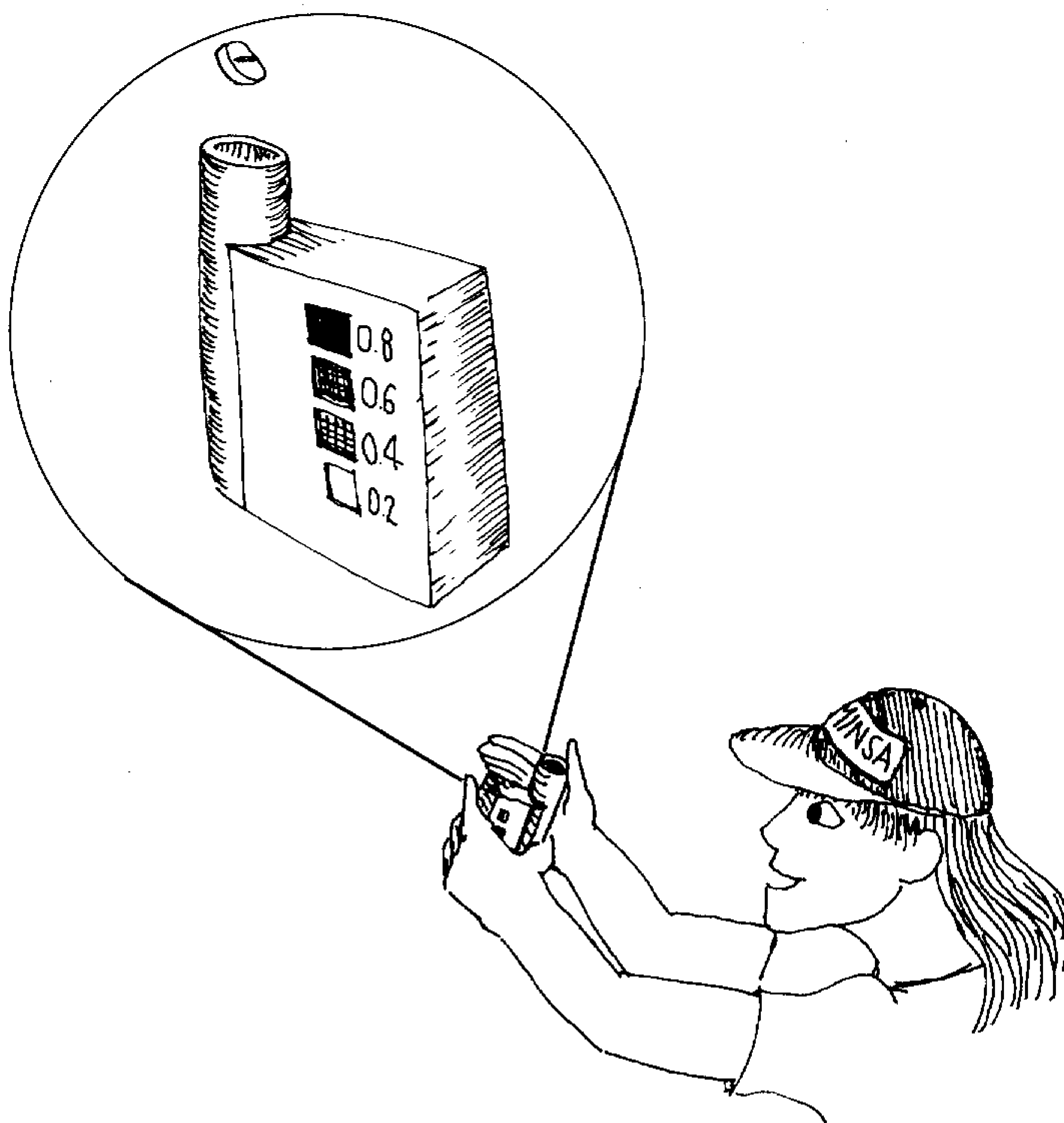
$$\text{PESO} = \text{PESO (tabla)} \times \frac{65}{\%\ \text{CLORO}}$$

• *Calibración del clorador artesanal: regulación del goteo*

Los datos anteriores consideran un tipo de agua normal. Sin embargo, algunos aspectos físicos y químicos del agua pueden alterar la cloración. Por esta razón siempre debemos regular el goteo al momento de hacer funcionar el clorador.

Midiendo el cloro residual en las piletas más alejadas de la red comprobaremos si el goteo obtenido en la tabla es correcto.

Si no encontramos el cloro residual necesario (0,2 ppm-1,0 ppm) debemos regular el caño para aumentar el goteo. Nunca debemos incrementar la dosis más de tres veces la calculada en la tabla.



• *Operación del clorador artesanal*

Cada dos días debemos remover la solución madre –porque el cloro tiende a depositarse al fondo del clorador– y controlar que el número de gotas sea adecuado. En caso contrario, debemos regular el caño.

El sistema de control de goteo, compuesto por un tubo de polietileno flexible con un orificio y por un flotador, proporciona un goteo constante. Debemos comprobar que este sistema esté en buenas condiciones.

Si por cualquier circunstancia se interrumpe el ingreso de agua al reservorio, inmediatamente debemos cerrar el caño que gotea la solución de cloro.

El cloro pierde su fuerza desinfectante con el paso de los días, por tanto la solución madre no debe durar más de siete días en el clorador.

• *Limpieza del clorador*

Cada vez que se prepara una nueva solución madre debemos limpiar el clorador para retirar las partículas anteriores y la solución sobrante. Para ello, debemos sacar el tapón de la tubería de limpieza y lavar con agua.

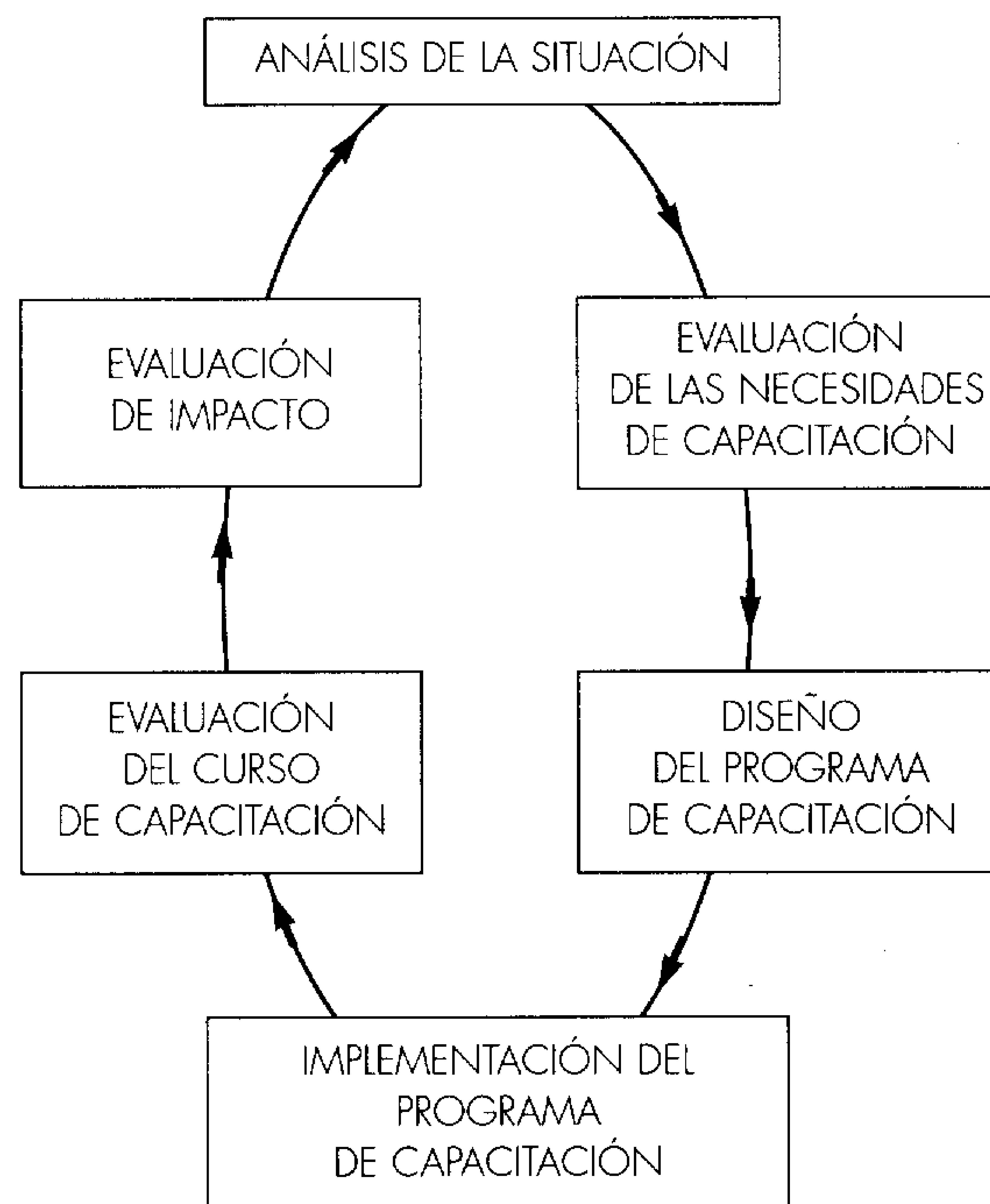
Capacitación en operación y mantenimiento

GUÍA PARA CAPACITADORES

La capacitación apunta a modificar comportamientos. Es, por tanto, un agente de cambio y permite asegurar la sostenibilidad de los sistemas de tratamiento.

El conocimiento de los procesos de tratamiento y las habilidades manuales para su operación y mantenimiento no pueden liderar un cambio de comportamientos a menos que estén acompañados por un proceso de motivación y por la creación de un ambiente propicio en la comunidad y en los encargados de la operación.

El proceso cíclico de capacitación



- ***Análisis de la situación***

Es necesario analizar la situación de la comunidad y sus niveles de organización.

- ***Evaluación de las necesidades de capacitación***

A partir de un análisis de las tareas que serán desempeñadas por los operadores, se debe decidir quiénes y cuántos serán capacitados, así como el tipo y nivel de capacitación que se impartirá.

Se deben comparar las tareas a realizar con los conocimientos, habilidades y actitudes de los operadores disponibles. La capacitación debe cubrir estos vacíos.

- ***Diseño del programa de capacitación***

A partir de los estudios anteriores diseñaremos el programa, que debe definir contenidos, metodología, materiales y el nivel de conocimiento y habilidades que debe alcanzarse (ver ejemplo del programa de capacitación).

- ***Implementación del programa de capacitación***

Si oigo, olvido.
Si veo, recuerdo.
Si hago, entiendo.

(proverbio chino)

El aprendizaje suele ser un proceso de imitación, por eso es necesario que el capacitador ofrezca ejemplos correctos a seguir. Este proceso debe ser reforzado con la práctica, para asegurarse de que el operador está comprendiendo correctamente y corregirlo en caso contrario.

Los métodos participativos en los cuales los operadores se comunican y aprenden haciendo siempre son mucho más efectivos que los simples métodos de charla.

En un principio, el capacitador debe mostrar una visión general de todos los procesos y tareas necesarias en la operación de la planta de tratamiento. Luego, la información de cada tarea será presentada y asimilada como parte de una secuencia lógica. Para cada una de las tareas se deben seguir estos pasos:

1) Transmisión de conocimientos con charlas, fotos, dibujos, preguntas y discusión (no más de 30 minutos).
2) Demostración de un ejemplo práctico.
3) Práctica. Este paso desarrolla la confianza del operador al realizar las tareas, y debe continuar hasta que éste demuestre su capacidad de realizar correctamente la tarea.

<u>Características del capacitador</u>: Un capacitador es un facilitador de aprendizaje que proporciona a los participantes la oportunidad de aprender a través de la experiencia, lo que aumenta su confianza.

No debemos olvidar que la gente aprende individualmente. Por ello, un capacitador debe:

- sentir un interés sincero por cada individuo
- animar y entusiasmar
- involucrar a todos
- asegurarse de que puede ser entendido por todos

- ***Evaluación del curso de capacitación***

La evaluación debe obtener información sobre el progreso del aprendizaje en términos de los conocimientos adquiridos y el éxito en la práctica.

Sirve para informar a los operadores acerca de sus progresos, y como fuente de información para posteriores capacitaciones.

- ***Evaluación de impacto***

Debe recoger información acerca de la aplicación de los conocimientos adquiridos (IRC 1983; Waterlines 1997).

Ejemplo de un programa de capacitación sobre filtración lenta en arena

Programa de cursos teóricos

TÍTULO	***El filtro lento en arena***
OBJETIVO	Los participantes serán capaces de describir con sus propias palabras las partes esenciales de un filtro y su función. Se les proporcionará un dibujo sin información escrita para ayudarlos.
MATERIAL	Pizarra, plumones, cinta adhesiva, papelógrafos y dibujo de un filtro lento sin información escrita.
MÉTODO	Charla y discusión con preguntas y respuestas.
TIEMPO	Hora y media.
INTRODUCCIÓN	Explicar que los operadores necesitan conocer los elementos esenciales del filtro para poder entender por qué y cómo tienen que operar y mantener el filtro.
DESARROLLO	1) Dibujar un filtro paso a paso y explicar sus partes principales y la función que cumplen. 2) Dibujar todas las válvulas y explicar su función. 3) Verificar con preguntas si los participantes han entendido. 4) Dar paso a preguntas de los participantes.
EVALUACIÓN	1) Dar a los participantes el dibujo de un filtro y pedirles que expliquen en cada parte del filtro de forma ordenada (ingreso-salida) lo que ocurre y por qué, y la operación de cada válvula. 2) Hacerles preguntas como cuál es la profundidad del lecho, o la altura máxima y mínima de la capa de agua sobrenadante.
REVISIÓN	Revisar las partes en las cuales los participantes han estado inseguros.

TÍTULO	***El proceso de filtración***
OBJETIVO	Los participantes serán capaces de describir con sus propias palabras qué ocurre cuando el agua fluye a través de la arena, por qué aumenta el nivel del agua con el tiempo, y por qué es necesario el lavado.
MATERIAL	Pizarra, plumones, cinta adhesiva, papelógrafos y dibujo de un filtro lento sin información escrita.
MÉTODO	Charla y discusión con preguntas y respuestas.
TIEMPO	Hora y media.
INTRODUCCIÓN	Explicar por qué los operadores necesitan saber lo que ocurre en el proceso de filtración y las operaciones necesarias para un correcto funcionamiento.
DESARROLLO	1) Discutir el mecanismo biológico de filtración. 2) Explicar cuáles deben ser las características de la arena y por qué. 3) Explicar el significado de pérdida de carga. 4) Verificar con preguntas si los participantes han entendido. 5) Dar paso a preguntas de los participantes.
EVALUACIÓN	1) Dar a los participantes el dibujo de un filtro y pedirles que expliquen lo que ocurre en el lecho de arena. 2) Hacerles preguntas como qué significa la pérdida de carga y cómo afecta la operación de filtración, o cuándo es necesario lavar el filtro.
REVISIÓN	Revisar las partes en las cuales los participantes han estado inseguros.

Programa de cursos prácticos

TÍTULO	***Puesta en marcha del filtro***
OBJETIVO	Los participantes serán capaces de poner en marcha un filtro.
MATERIAL	Filtro lento con el lecho limpio y correctamente nivelado.
MÉTODO	Demostración en campo.
TIEMPO	Hora y media.
INTRODUCCIÓN	Explicar la importancia de una correcta puesta en marcha del filtro para asegurar su eficacia y producir un agua segura, y resaltar que los operadores deben ser capaces de poner en marcha el filtro. Explicar de forma general los pasos a seguir.
DESARROLLO	Mostrar los pasos a seguir poniendo énfasis en los más importantes: 1) Explicar cómo preparar la arena para el tamizado y cómo lavarla. 2) Discutir cuál es la mejor forma de lavar la caja del filtro, y cómo colocar en su sitio las capas de grava y de arena. 3) Demostrar cada una de las acciones claves en el llenado del filtro por el fondo, explicando la dirección del flujo en cada caso, lo que se está haciendo y por qué se está haciendo. 4) Dar paso a preguntas de los participantes.
PRÁCTICA	1) Pedir a los participantes que pongan en marcha el filtro explicando antes de cada paso qué es lo que van a hacer. Corregir cualquier error inmediatamente. 2) Pedirles que lo pongan en marcha bajo la supervisión del capacitador. 3) Pedirles que lo pongan en marcha de nuevo mientras el capacitador apunta cómo lo hacen y cuáles son los posibles puntos débiles.
REVISIÓN	Revisar las partes en las cuales los participantes han estado inseguros.

TÍTULO	***Lavado del lecho de arena***
OBJETIVO	Los participantes serán capaces de preparar el filtro para el lavado, realizar los dos tipos de lavado conociendo cuándo se realiza cada uno de ellos y ponerlo nuevamente en operación.
MATERIAL	Filtro lento listo para el lavado por el método de trillado en húmedo con remoción de material filtrado. Palana, pico y rastrillo.
MÉTODO	Demostración en campo.
TIEMPO	Dos horas y media.
INTRODUCCIÓN	Explicar por qué es importante un lavado correcto del filtro para asegurar su eficacia y producir un agua segura. Explicar de forma general los pasos a seguir.
DESARROLLO	Mostrar los pasos a seguir poniendo énfasis en los más importantes: 1) Mostrar a los participantes cuándo es necesario el lavado. 2) Explicar la operación que se hizo el día anterior: cerrar la válvula de ingreso y dejar filtrar con tasa declinante. 3) Explicar el porqué de la manipulación de cada válvula. 4) Mostrarles cómo rastrillar con flujo de agua ascendente y dejarlos culminar la operación. 5) Mostrarles cómo rastrillar en seco y dejarlos culminar la operación. 6) Mostrarles cómo poner nuevamente en operación el filtro. 7) Resumir los pasos seguidos durante el lavado del filtro.
PRÁCTICA	1) Pedir a los participantes que realicen toda la operación de lavado del lecho filtrante explicando antes de cada paso qué van a hacer. Corregir cualquier error inmediatamente. 2) Pedirles que lo repitan bajo la supervisión del capacitador. 3) Pedirles que lo repitan nuevamente mientras el capacitador apunta cómo lo hacen y cuáles son los posibles puntos débiles.
REVISIÓN	Revisar las partes en las cuales los participantes se han mostrado inseguros.

TÍTULO	***Operación de filtración, control y mantenimiento***
OBJETIVO	Los participantes serán capaces de realizar estas tareas.
MATERIAL	Filtro lento bajo operación normal.
MÉTODO	Demostración en campo.
TIEMPO	Hora y media.
INTRODUCCIÓN	Explicar la importancia de la capa superficial de microorganismos y lo perjudiciales que resultan los cambios repentinos en la cantidad y calidad del agua bruta para asegurar la eficacia del filtro y producir un agua segura. Explicar de forma general los pasos a seguir.
DESARROLLO	Mostrar cómo hacer: 1) La operación del filtro: posición de las válvulas. 2) El control: aforo para medir caudales de ingreso, regulación del caudal de ingreso, control del crecimiento de las algas y del olor y sabor del agua, registro de la turbidez a la entrada de los filtros y de la duración de la carrera de filtración. 3) El mantenimiento.
PRÁCTICA	1) Pedir a los participantes que realicen estas operaciones explicando antes de cada paso qué es lo que van a hacer. Corregir cualquier error inmediatamente. 2) Pedirles que lo vuelvan a hacer bajo la supervisión del capacitador. 3) Pedirles que lo hagan de nuevo mientras el capacitador apunta cómo lo hacen y cuáles son los posibles puntos débiles.
REVISIÓN	Revisar las partes en las cuales los participantes han estado inseguros.

BIBLIOGRAFÍA

ALLEN, R.B. *A method of cleaning slow sand filters developed at the West Hartford,* CT *water treatment plant*".

Área de Abastecimiento y Remoción de Agua de la Universidad del Valle (1985). *Proyecto integrado de investigación y demostración en filtración lenta en arena*. Colombia.

BELLAMY, W.; HENDRICKS D.; LOGSDON, G. (1985). *Slow sand filtration: influences of selected process variables.* AWWA. Research Foundation. 6666. West Quincy Avenue. Denver, Co 89235. Estados Unidos.

CAIRNCROSS, S.; FEACHEM, R. (1978). *Small water supplies*. The ROSS Institute, Londres, Reino Unido.

CÁNEPA DE VARGAS, L. (1982). *Programa de tecnificación de supervisores de operación de plantas de tratamiento de agua: operación y mantenimiento rutinario. Filtración lenta*. CEPIS/OPS.

CÁNEPA DE VARGAS, L. (1992). *Filtración lenta: teoría y evaluación; diseño; operación, mantenimiento y control*. CEPIS.

CÁNEPA DE VARGAS, L. (1998). *Taller regional: tecnologías adecuadas de saneamiento básico para el ámbito rural.* CEPIS/OPS.

CEPIS (1984). *Guía de diseño de plantas de filtración lenta para el medio rural*. Manual DTIAPA C-3. Lima, Perú.

COLLINS, R.; TAYLOR, T.; MALLEY, J. P. (1991). "Evaluating modification to slow sand filters". En *AWWA*. Research Foundation. 6666 West Quincy Avenue. Denver, Co 80235, Estados Unidos.

CRHEA EESC-USP (Centro de Recursos Hídricos y Ecología Aplicada) (1991). "Seminario nacional sobre prefiltración y filtración lenta de aguas de abastecimiento". San Carlos, São Paulo, Brasil.

HOFKES; EBBO, H.; HUISSMAN, L. (1987). *Small community water supplies: Technology of small water supply system in developing countries*. IRC.

IRC. Water and Sanitation Centre (1983). *Guidelines for operation and maintenance of slow sand filtration plants in rural areas of developing countries.*

MARRÓN, C. (1998). *Filtro lento modificado de bajo costo y limpieza por trillado*. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, ITDG-Perú.

MARRÓN, C. (1998). *Sistemas de agua potable: manual de administración, operación y mantenimiento*. ITDG-Perú.

PARDON, M.; WHEELER, D.; LLOYD, B. J. (1983). *Process aids for small scale slow sand filtration*. Departamento de Microbiología, Universidad de Surrey, Guildford, Reino Unido.

Programa de Agua y Saneamiento PNUD-Banco Mundial (1998). *Perú: lineamientos para un programa nacional de agua y saneamiento rural.*

Waterlines, julio de 1997, vol. 16, No 1. *Technical Brief* No. 53: "Training".